

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECURIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



Influencia de las coberturas forestales y
condiciones ecológicas sobre el potencial
hidrológico de la microcuenca del Río Salado, Área
de Protección de Flora y Fauna La Primavera

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

JOSÉ ADALBERTO ARIAS MENAUT

ZAPOPAN, JALISCO, OCTUBRE DE 2010



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO
COMITÉ DE TITULACIÓN

M.C. SALVADOR GONZÁLEZ LUNA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
PRESENTE

Con toda atención nos permitimos hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobada la modalidad de: TESIS E INFORMES, opción TESIS, con el título:

"INFLUENCIA DE LAS COBERTURAS FORESTALES Y CONDICIONES
ECOLÓGICAS SOBRE EL POTENCIAL HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA
DEL RÍO SALADO, ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA LA
PRIMAVERA"

El cual fue presentado por él (los) pasante(s):

JOSÉ ADALBERTO ARIAS MENAUT

El Comité de Titulación, designó como director y asesores, respectivamente, a los profesores:

| | |
|--|-----------------|
| M.C. ANA LUISA SANTIAGO PÉREZ | DIRECTOR |
| DR. RAYMUNDO VILLAVICENCIO GARCÍA | ASESOR |
| DR. JORGE PEDRO TOPETE ÁNGEL | ASESOR |

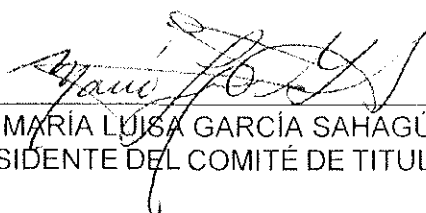
Una vez concluido el trabajo de titulación, el Comité de Titulación designó como sinodales a los profesores:

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| M.C. ANTONIO MORA SANTACRUZ | PRESIDENTE |
| M.C. JOSÉ MARÍA CHÁVEZ ANAYA | SECRETARIO |
| DR. AGUSTÍN GALLEGOS RODRÍGUEZ | VOCAL |

Se hace constar que se han cumplido los requisitos que establece la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara, en lo referente a la titulación, así como el Reglamento del Comité de Titulación.

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, a 12 de noviembre de 2010.


DRA. MARÍA LUISA GARCÍA SAHAGÚN
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN




M.C. EDUARDO RODRÍGUEZ DÍAZ
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

COMUNICACIÓN DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis formó parte del Proyecto "Condiciones físicas y estructura forestal de la microcuenca del Río Salado del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, como fase descriptiva para la valoración de pago por servicios ambientales" financiado por la Universidad de Guadalajara (P3e2006-48520 y P3e2007-62168), así también contó con fondos de la Dirección Ejecutiva Bosque La Primavera (DEBLP IM 002/MAB 06) y un apoyo otorgado mediante el Programa de Iniciación Temprana a la Investigación (PITAI) de la Coordinación General Académica de la Universidad de Guadalajara.

A mis padres, a mi directora de tesis Ana Luisa Santiago y mis asesores Raymundo Villavicencio y Pedro Topete, a los profesores: Sandra Toledo, Leticia Fregoso, Liliana Moreno, Agustín Gallegos, Antonio Mora, Leonor Román, Gerardo González, José María Chávez, Jesús Godínez, Roberto Novelo, Juan Espinosa, Osmany Jay Herrera, David Kaimowitz, Netzahualcóyotl Martín del Campo, Ariel Ruiz Corral y Fernando López Alcocer, sin sus enseñanzas y apoyo esto no habría sido posible.

Al maestro Eleno Félix y a Silvia Rubio del Departamento de Producción Forestal del CUCBA por su incondicional apoyo logístico. A la Dirección Ejecutiva del Bosque La Primavera: Salvador Mayorga, Marco Antonio Martínez Colín y Gerardo Cabrera.

A Mara y a toda la banda: Juanito 'Peace and Love', Magaly, Jiangu, Litos, Rubén, Farin, Fer, Rober, Alex, Paco, Bugarín, Alma, Cristian, Diego, Gaby, Beto 'Pimientita', George, Altemar por su apoyo en los monitoreos en campo. A Claudia por haberme regalado las primeras lombrices, sin ellas no me hubiera clavado tanto en la sustentabilidad y sin la sustentabilidad no me habría topado con los bosques, y nuevamente a Ana Luisa por ser una excelente guía. Ya se mira el horizonte.

Para Judith y Yaki, in memoriam.

*“El mantenimiento del buen
uso de la tierra puede
 depender
 básicamente de la flexibilidad
 en la cultura del hombre, más
 que del esfuerzo del agricultor y de las
 características de ambientes específicos”*

Leslie R. Holdridge

CONTENIDO

| | Págs. |
|---|-------|
| Índice de cuadros..... | i |
| Índice de figuras..... | ii |
| I. Resumen..... | 1 |
| II. Introducción..... | 2 |
| 2.1. Objetivo general..... | 4 |
| 2.1.1. Objetivos específicos..... | 4 |
| 2.2. Hipótesis..... | 4 |
| III. Revisión de literatura..... | 6 |
| 3.1. Conceptos y principios..... | 6 |
| 3.1.1. Ciclo hidrológico..... | 6 |
| 3.1.2. Balance hidrológico..... | 6 |
| 3.1.3. Precipitación..... | 7 |
| 3.1.4. Evaporación y transpiración..... | 8 |
| 3.1.5. Infiltración..... | 8 |
| 3.1.6. Escurrimiento..... | 9 |
| 3.2. Cuencas hidrológicas..... | 10 |
| 3.2.1. Características..... | 10 |
| 3.2.2. Manejo de cuencas..... | 12 |
| 3.3. Erosión..... | 13 |
| 3.3.1. Producción de sedimento..... | 14 |
| 3.4. Sustentabilidad..... | 15 |
| 3.5. Las áreas naturales protegidas..... | 17 |
| 3.6. Los servicios ambientales..... | 19 |
| 3.6.1. Valoración de los servicios ambientales..... | 20 |
| 3.7. La calidad del agua..... | 21 |
| 3.7.1. La clasificación de aguas para riego..... | 22 |
| 3.8. Análisis estadístico..... | 23 |
| 3.8.1. Prueba de análisis de varianza..... | 23 |
| 3.8.1.1. División de la variación total..... | 25 |
| 3.8.1.2. Pruebas de significación..... | 25 |
| 3.8.1.3. Interpretación de resultados..... | 26 |
| 3.8.2. Coeficiente de determinación..... | 26 |
| 3.8.3. Análisis multivariable..... | 27 |
| IV. Materiales y métodos..... | 29 |
| 4.1. Área de estudio..... | 29 |
| 4.1.1. Características físicas del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera..... | 29 |
| 4.1.2. Características biológicas del APFFLP..... | 30 |
| 4.1.3. Características físicas y forestales de la microcuenca del Río Salado..... | 32 |
| 4.2. Diseño del muestreo..... | 36 |
| 4.2.1. Captación, retención y escurrimiento..... | 36 |
| 4.2.2. Escurrimiento superficial y producción de sedimento..... | 40 |
| 4.2.3. Cálculo de infiltración directa..... | 41 |
| 4.2.4. Relación de variables dasométricas, físicas, ambientales y biológicas con los parámetros hidrológicos..... | 41 |
| 4.2.5. Análisis de calidad de agua..... | 43 |

| | |
|---|----|
| V. Resultados y discusión..... | 44 |
| 5.1. Precipitación, retención y escurrimiento..... | 44 |
| 5.2. Escurrimiento superficial y producción de sedimento..... | 49 |
| 5.3. Cálculo de infiltración directa..... | 52 |
| 5.4. Relación de variables dasométricas, físicas, ambientales y biológicas con los parámetros hidrológicos..... | 55 |
| 5.5. Análisis de calidad del agua..... | 59 |
| VI. Conclusiones..... | 62 |
| VII. Literatura citada..... | 64 |
| VIII. Apéndice..... | 78 |
| 8.1. Consideraciones finales..... | 78 |
| 8.2. Referencia de parámetros hidrológicos y pérdida de suelo de diferentes estudios en el Bosque La Primavera..... | 81 |
| 8.3. Ubicación de los lotes de escurrimiento | 82 |
| 8.4. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L1F150..... | 83 |
| 8.5. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L2F150..... | 84 |
| 8.6. Planilla para cálculo de infiltración del sitio 4F2PA..... | 85 |
| 8.7. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L4F2PAi..... | 86 |
| 8.8. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L5F125..... | 87 |
| 8.9. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L3F125..... | 88 |
| 8.10. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L9F175..... | 89 |
| 8.11. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L9F175i..... | 90 |
| 8.12. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L4F1SV..... | 91 |
| 8.13. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L6F1SV..... | 92 |
| 8.14. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L11F1ME..... | 93 |
| 8.15. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L11F1MEi..... | 94 |

Índice de cuadros

| | Págs. |
|--|-------|
| Cuadro 1. Tipos de cobertura forestal y otros usos de suelo de la microcuenca del Río Salado..... | 35 |
| Cuadro 2. Tipo de suelo y exposición de la microcuenca del Río Salado..... | 35 |
| Cuadro 3. Características dasométricas por tipo de cobertura forestal en la microcuenca del Río Salado | 36 |
| Cuadro 4. Precipitación media en milímetros para el período 1982-2000 de la estación meteorológica Tala, Jalisco..... | 41 |
| Cuadro 5. Resumen de los parámetros hidrológicos (precipitación, retención y escurrimiento) por tipo de cobertura en la duración de todo el experimento..... | 45 |
| Cuadro 6. Análisis de varianza de la retención de agua de todos los tipos de cobertura para el mes de julio, agosto y septiembre de 2007..... | 46 |
| Cuadro 7. Análisis de varianza del escurrimiento de agua de todos los tipos de cobertura para el mes de julio, agosto y septiembre de 2007..... | 46 |
| Cuadro 8. Análisis de varianza de la pérdida de suelo a partir del escurrimiento superficial de todos los tipos de cobertura durante el mes de julio de 2007..... | 50 |
| Cuadro 9. Producción calculada de sedimento en base a la precipitación para la microcuenca del río Salado..... | 51 |
| Cuadro 10. Infiltración básica por unidad de suelo y cobertura vegetal..... | 52 |
| Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas, ambientales e hidrológicas, especies arbóreas y los ejes de la ordenación del análisis de componentes principales..... | 56 |
| Cuadro 12. Análisis del agua del Río Salado del APFFLP..... | 60 |

Índice de figuras

| | Págs. |
|---|-------|
| Figura 1. Relación del análisis de varianza con otras técnicas..... | 24 |
| Figura 2. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera y en su interior la delimitación de la microcuenca del Río Salado..... | 30 |
| Figura 3. Modelo de elevación del terreno de la microcuenca del río Salado..... | 33 |
| Figura 4. Ejemplos de cobertura forestal..... | 33 |
| Figura 5. Tipo de cobertura de la microcuenca del Río Salado..... | 34 |
| Figura 6. Detalle de los lotes de escurrimiento | 35 |
| Figura 7a. Ubicación de los lotes de escurrimiento en las diferentes coberturas y usos de suelo en la parte alta de la microcuenca..... | 38 |
| Figura 7b. Ubicación de los lotes de escurrimiento en las diferentes coberturas y usos de suelo en la parte baja de la microcuenca..... | 39 |
| Figura 8. Medición de parámetros de precipitación y escurrimiento..... | 40 |
| Figura 9. Relaciones estadísticas entre precipitación y retención..... | 47 |
| Figura 10. Infiltración promedio básica o constante en cada una de las coberturas de la microcuenca del Río Salado..... | 53 |
| Figura 11. Infiltración instantánea en cada una de las coberturas de la microcuenca del Río Saldo..... | 54 |
| Figura 12. Ordenación del análisis de componentes principales de 24 lotes de escurrimiento derivado de la correlación de variables dasométricas, hidrológicas, biológicas y físicas..... | 57 |

ABREVIATURAS

| | |
|---------------------------------------|--|
| cm | centímetros |
| cm hr ⁻¹ | centímetros por hora |
| cm año ⁻¹ | centímetros por año |
| EDTA | ácido etilendiaminotetracético |
| F | <i>fixation, F-statistics</i> |
| gr m ⁻² | gramos por metro cuadrado |
| ha | hectárea |
| Hh/1 | Feozem háplico de textura gruesa en los primeros 30 centímetros |
| kg ha ⁻¹ | kilogramos por hectárea |
| kg ha ⁻¹ mes ⁻¹ | kilogramos por hectárea por mes |
| l m ⁻² | litros por metro cuadrado |
| m ² ha ⁻¹ | metros cuadrados por hectárea |
| m ³ ha ⁻¹ | metros cúbicos por hectárea |
| mg l ⁻¹ | miligramos por litro |
| ml | mililitros |
| Mm ⁻³ | millones de metros cúbicos |
| Mm ⁻³ año ⁻¹ | millones de metros cúbicos por año |
| mm | milímetros |
| mm año ⁻¹ | milímetros por año |
| µs cm ⁻¹ | micromhos por centímetro |
| n | número de muestras |
| NMP | número más probable |
| p | probabilidad |
| pH | potencial de hidrógeno |
| ppm | partes por millón |
| Re/1 | Regosol eútrico de textura gruesa en los primeros 30 centímetros |
| SIG | sistemas de información geográfica |
| t km ⁻² | toneladas por kilómetro cuadrado |
| t km ⁻² año ⁻¹ | toneladas por kilómetro cuadrado por año |
| UFC | unidades formadoras de colonia |
| USD | dólares estadounidenses |
| US | Estados Unidos |

I. RESUMEN

Durante el periodo de lluvias julio-septiembre de 2007 se cuantificó y comparó la captación, retención, escurrimiento superficial y pérdida de suelo en diferentes densidades de cobertura forestal y otros usos de suelo, con el propósito de evaluar el potencial hidrológico de la microcuenca del Río Salado del Bosque La Primavera. Se realizaron pruebas de infiltración con cilindros y se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de una corriente permanente de la microcuenca. Las coberturas forestales densas (>75%) retuvieron hasta el 95% del agua de lluvia siendo este el mayor valor respecto a las otras condiciones, aunque sin diferencias significativas. El mayor escurrimiento superficial promedio (75.0 mm) se presentó en las áreas sin vegetación, mientras que en las coberturas forestales <25%, 25-50%, 50-75%, >75% y pastizales, fue de 38.2, 30.1, 37.6, 18.8 y 30.1 mm, respectivamente, encontrando diferencias entre estos (AOV, $p < 0.05$, $\alpha = 0.05$). La mayor pérdida de suelo se produjo en las área sin vegetación ($42.7 \pm 33.7 \text{ gr m}^{-2}$) y la menor en coberturas forestales densas (>75%) con $6.94 \pm 4.3 \text{ gr m}^{-2}$. Las pruebas de infiltración simulada indicaron en promedio una tasa constante de $23.0 \pm 8.3 \text{ cm hr}^{-1}$. Los mayores valores de infiltración básica se presentaron en suelos Regosoles eútricos con jales gruesos y fases pedregosas, en las cobertura de 25-50%, 50-75% y >75% (45.4 , 36.4 y 26.7 cm hr^{-1}), en contraste, los más bajos en suelos Regosoles de textura gruesa con 9.88 a 17.7 cm hr^{-1} , bajo condiciones desfavorables por compactación y actividades antropogénicas. Las variables dasométricas de densidad y área basal se relacionaron con la infiltración, el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo con el 71% de la varianza explicada. El análisis de calidad de agua del Río Salado en su fase inicial presentó un alto contenido en mg l^{-1} de cloruros, sulfatos, sodio y boro, por lo que según la norma oficial no se recomienda para riego ni uso humano, sin embargo no se presentó contaminación por coliformes.

II. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales proveen servicios ecosistémicos, como agua en calidad y cantidad, amenidades paisajísticas y filosóficas, secuestro de carbono, protección contra la erosión, materiales, forrajes, frutos, etc. además de una amplia gama de servicios sin los cuales, muy difícilmente la humanidad se desenvolvería de manera plena. Evaluar estos “servicios” es parte fundamental del manejo sostenible de los recursos naturales cada vez más escasos en nuestros días (Gay, 2008).

Las poblaciones humanas, los ecosistemas y el desarrollo económico no funcionarían sin los recursos hídricos, estos últimos desempeñan una función indispensable para la vida (Chappell y Thang, 2007). La creciente demanda de recursos hídricos superará en unos treinta años la posible oferta, esto supone un gran riesgo para las cuencas hidrológicas y para las personas que viven en condiciones de pobreza (Gay, 2008). La problemática de la escasez de agua presente y futura plantea como tarea de suma importancia la elaboración de estudios que arrojen datos de recarga de acuíferos, escurrimiento, infiltración, precipitación, etc. El suministro hídrico en nuestros días se agrava cada vez más, a tal grado que en algunos países, incluido el nuestro, existen ya conflictos por escasez hídrica y soberanía (Carabias et al., 2009). Según datos de la Organización Mundial de la Salud, 1,500 millones de personas no tienen asegurado el acceso al agua potable (Brown, 2001).

Numerosas ciudades han optado por depender de las zonas forestales para el abastecimiento de agua alrededor del mundo (Stolton y Dudley, 2007). Aunque existe un gran debate sobre si realmente los bosques producen agua, no hay duda de que estos regulan la calidad de la misma (Calder, 2007).

Las cuencas hidrográficas, al funcionar como captadoras de la precipitación, juegan un papel importante en el suministro hídrico. El analizarlas implica la comprensión de la estructura, el funcionamiento y la distribución de los componentes biofísicos y paisajísticos que las conforman, para facilitar el entendimiento de la fragilidad ecosistémica y la cantidad, calidad y temporalidad del agua (Cotler y Priego, 2004).

La infiltración es uno de los procesos básicos que ocurren en el ciclo hidrológico. Una adecuada infiltración significa la estabilidad de cualquier hábitat terrestre y la conservación del suelo, siendo este último un recurso natural no renovable (Brown, 2001).

La evaluación pluviométrica permite correlacionar el aporte de los fenómenos meteorológicos con el escurrimiento hídrico y este último con múltiples variables medioambientales (Winckell y Le Page, 2004). Una vez que se ha evaluado la estructura de los ecosistemas forestales, los parámetros hidrológicos de las cuencas, la pérdida de suelo, la biodiversidad y la dimensión socioambiental, será posible tomar mejores decisiones tendientes al uso racional o asignar valores económicos. Incentivar a los propietarios de los predios forestales, por los servicios ambientales proporcionados representa una estrategia de mitigación del deterioro (Conafor, 2010).

La microcuenca del Río Salado (MRS) es la más grande y una de las más importantes del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), ya que abastece con sus aguas a la región hidrológica del Río Ameca, al valle agrícola de Tala y a la presa La Vega-Cocula, una de las regiones con actividad primaria más productiva del estado de Jalisco.

El APFFLP, a pesar de ser un Área Natural Protegida (ANP), presenta diversos tipos de uso de suelo: pastoreo, infraestructura urbana, agrícola y recreación (Gallegos et al., 2006), además de que cuenta con exploraciones geotérmicas realizadas en la década de los ochenta que causaron un gran impacto en al menos treinta hectáreas (en su mayoría dentro de la parte alta de la microcuenca del Río Salado). En los últimos años los recursos naturales del APFFLP se han visto afectados por causa de los incendios forestales y por la

presión de los usos de suelo antes mencionados y que en particular podrían repercutir en la producción y calidad del agua.

El propósito del presente trabajo es aportar elementos para el manejo de cuencas en áreas protegidas, basado en las condiciones de las coberturas forestales y cómo éstas se relacionan con la conservación del suelo y agua. Se aborda la evaluación de los parámetros hidrológicos: captación, retención, escurrimiento superficial, infiltración y pérdida de suelo, en diferentes densidades de cobertura forestal y otros usos de suelo al interior de la microcuenca del Río Salado del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, Jalisco.

2.1. Objetivo general

Evaluar el potencial hidrológico de la microcuenca del Río Salado en distintos tipos de cobertura forestal, pastizales y áreas sin vegetación.

2.1.1. **Objetivos específicos**

a) Determinar los parámetros hidrológicos de captación, escurrimiento superficial, infiltración, así como la pérdida de suelo en los diferentes tipos de cobertura forestal y otros usos de suelo.

b) Relacionar la estructura forestal y condiciones ecológicas con los parámetros hidrológicos.

c) Evaluar la calidad del agua (parámetros físicos, químicos y microbiológicos).

2.2. Hipótesis

La capacidad de escurrimiento y retención del agua de lluvia, así como la pérdida de suelo dependen en gran medida de las densidades de cobertura

forestal: muy alta, alta, intermedia y baja, así como del uso del suelo: pastizal y suelo desnudo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Conceptos y principios

3.1.1. **Ciclo hidrológico**

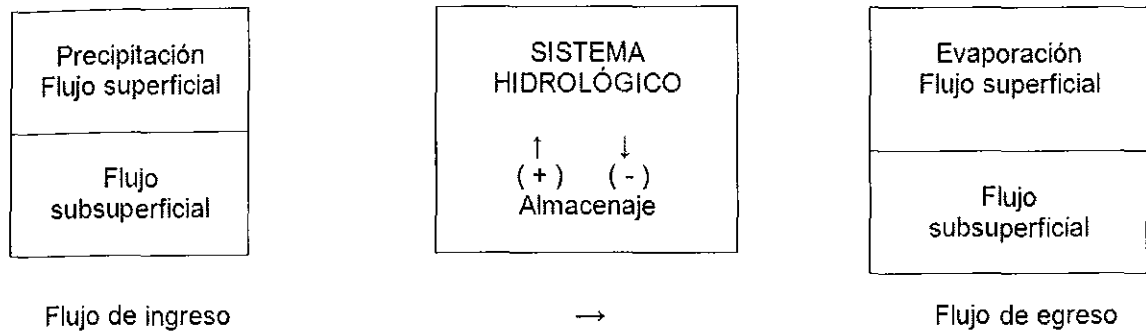
La relación precipitación-evapotranspiración-infiltración-escurrimiento que representa el reciclaje del agua a través de los diferentes componentes de la hidrosfera. El ciclo comienza en la caída de la gota de agua y termina con la caída de esta misma, recorriendo un circuito cerrado (Maderey, 2005). El ciclo determina los movimientos del agua en el sistema terrestre a través de la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía (Toledo, 2006). Los bosques naturales o artificiales contribuyen al ciclo del agua ya que determinan la disminución de la escorrentía y favorecen la recarga de los acuíferos (Malagnoux et al., 2007).

El exceso de agua es la pauta en los eventos hidrológicos, de tal manera que un evento común, como el escurrimiento, puede verse acelerado inusitadamente (Martínez, 1999).

3.1.2. **Balance hidrológico**

La estimación de los componentes hidrológicos de ingreso y egreso en un ecosistema, generalmente se calcula con un planteamiento algebraico (Lee, 1983; Maderey, 2001). La suma de todos los elementos debe igualarse a cero, el incremento del almacenaje (-), es una pérdida para el flujo inmediato, y el decremento (+), una adición (Lee, 1983):

Flujo de ingreso + flujo de egreso + cambios en el almacenaje = 0



El balance hidrológico consta de una parte activa, que comprende el escurrimiento y la evaporación, y una parte pasiva, que comprende la precipitación (Maderey, 2005):

$$P = Q + E$$

donde, P , es igual a la precipitación, Q , escurrimiento, E , evapotranspiración.

3.1.3. Precipitación

La caída de agua en forma de lluvia, nieve o neblina, suele medirse en milímetros (1 l m^{-2}). Para que una gota de agua quede suspendida en el aire debe tener más o menos $10 \mu\text{m}$ de diámetro, de manera que, para que ocurra la precipitación, la gota deberá vencer las corrientes ascendentes de aire uniéndose con otras gotas por medio de la condensación (Linsley et al., 1990). Cuando la intensidad de la precipitación excede la capacidad de infiltración, la acumulación de agua en la superficie conduce a la producción de un flujo superficial (Thornes, 1991).

Los bosques densos al interceptar, retener y evaporar hasta el 70% de la precipitación son capaces de influir grandemente sobre la cantidad de lluvia que alcanza la superficie del terreno, esto supone una pérdida de agua para la cuenca (Granados et al., 2005).

Las inundaciones provocadas por precipitaciones inusuales no serán contenidas por ningún tipo de bosque (Fernow, 1916; Calder, 2007).

3.1.4. Evaporación y transpiración

La evapotranspiración en los bosques es un proceso físico complejo y difícil de cuantificar (Toledo, 2006). Desde el punto de vista cuantitativo, un bosque retorna menos agua al suelo que los pastizales o áreas de cultivo, ya que devuelve mayores cantidades de agua a la atmósfera a través de la evapotranspiración (Brüschweiler et al., 2004).

El dosel del rodal, las ramas, las ramillas y el fuste de los árboles y la vegetación de los estratos más bajos (sotobosque), al interceptar el agua, además de la transpiración a través de los estomas, juegan un rol importante al lanzar nuevamente el agua a la atmósfera en forma de vapor. Esta etapa es la más eficiente del ciclo hidrológico, porque el escurrimiento en las masas forestales densas se reduce al mínimo. La transferencia de energía entre la atmósfera y la superficie de evaporación –las copas de los árboles–, puede llegar a ser tal, que estas últimas son capaces de evaporar diez veces más agua que la vegetación bajo el dosel, por otro lado, el agua transpirada a través de la fisiología del árbol, en general excede a aquella proveniente de la intercepción (Calder, 2002). El retiro de la vegetación nativa provoca un cambio en las tasas de intercepción de lluvia y evapotranspiración (Herrerías y Benítez-Malvido, 2005).

3.1.5. Infiltración

Supone el ingreso del agua proveniente de la lluvia hacia el suelo. El movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra (Linsley et al., 1990; Maderey, 2005). Existen múltiples factores que intervienen en la infiltración, como pueden ser: grado de humedad, tipo y uso de suelo, cubierta vegetal, geomorfología del área, cantidad y distribución de la

precipitación, características del mantillo, cuantía de zonas arboladas, entre otros (Evans, 1991; Calder, 2002; Torres y Guevara, 2002; Porras, 2003; Maderey, 2005; García et al., 2006; Colín et al., 2007; Nava y Mallen, 2007; Ortega et al., 2008). La reforestación y el uso de árboles intercalados en la agricultura incrementan la capacidad de infiltración (Ilstedt et al., 2007). Todos los factores antes citados tienen estrecha relación con los usos y prácticas del suelo, exceder la capacidad de carga ganadera (coeficiente de agostadero), trae consigo compactación y provoca que la superficie se vuelva impermeable (Calder, 2002; Maderey, 2005). La cobertura vegetal juega un papel primordial, entre más densa sea esta, más lenta será la infiltración y la fuerza cinética del agua estará equilibrada. Las gotas de lluvia compactan el suelo y las salpicaduras y el flujo del agua desprenden partículas del mismo; estos procesos pueden llenar los espacios entre las partículas y disminuir la tasa de infiltración (Evans, 1991).

La infiltración se relaciona ampliamente con la pérdida de suelo y el escurrimiento, porque influencia las máximas pérdidas de suelo y escurrimiento en bajas y altas densidades, además de la recarga de los mantos freáticos (Ilstedt et al., 2007).

3.1.6. Escurrimiento

El flujo de agua sobre la tierra que avanza hasta alcanzar una depresión (Linsley et al., 1990), puede estar en función de la humedad inicial y de las condiciones de hidrofobicidad del suelo y del tipo de cobertura vegetal (Ramírez-Cruz et al., 2007).

Del total de la precipitación, solamente un porcentaje bajo escurrirá (Torres y Guevara, 2002), aunque puede llegar al orden del 95 % del total de la precipitación en zonas desprovistas de cobertura vegetal (Viramontes et al., 2007a). Al saturarse los espacios de aire del suelo con agua, esta última comienza a escurrir superficialmente. Toda aquella parte de la precipitación que no fue interceptada y que no logró infiltrarse escurrirá aguas abajo y en el mejor

de los casos hasta el mar, de esta etapa depende el suministro de agua de comunidades enteras y la subsistencia de ecosistemas riparios y cuerpos de agua. En esta fase del ciclo hidrológico, las hojas, el mantillo y las raíces de las plantas inhiben el movimiento de las partículas de suelo formando una superficie burda e impidiendo y reduciendo la velocidad del agua (Evans, 1991; Thornes, 1991; Granados, 2001; Ruiz et al., 2005; Vigiak et al., 2007).

La degradación y la deforestación han traído como consecuencia un mayor escurrimiento, mayor erosión y que se disminuya la retención de agua (Viramontes et al., 2007). Por ejemplo, la disminución del flujo neto en los bosques nubosos puede deberse a la deforestación, esta última afecta la captura horizontal (Porras, 2003).

Entre más cortas e intensas sean las precipitaciones, disminuirá la influencia ejercida por los bosques sobre la regulación de los flujos, sin embargo, la remoción de las masas forestales puede causar el aceleramiento de los caudales, incrementar el riesgo de inundación en el temporal de lluvias y la reducción de corrientes perennes en temporada de estiaje, pudiendo llegar a secar ríos (Bruijnzeel, 2004; Calder, 2007).

3.2 Cuencas hidrológicas

3.2.1. **Características**

Las cuencas hidrológicas son áreas delimitadas naturalmente por un parteaguas en las que pueden estudiarse de forma integral factores físicos, químicos, biológicos y económicos; en general se dividen en tres componentes principales: las partes altas que funcionan como áreas de captación, las intermedias como de tránsito, y las partes bajas como de depósito y aprovechamiento (Benavides-Solorio et al., 2005). Existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas, sistemas cerrados que constituyen lagos, y exorreicas, sistemas que desembocan en otra corriente o en el mar (Becerra, 2005).

Las cuencas ofrecen múltiples servicios a las sociedades humanas, el suministro de agua dulce que se destina a usos domésticos, agrícolas, industriales y ecológicos depende por mucho de los flujos originados en ellas (Calder, 2007; Chappell y Thang, 2007; FAO, 2007). La seguridad alimentaria reside ampliamente en los sedimentos colectados y transportados a través de las cuencas, además, capturan la mayoría de los 110,000 km³ de lluvia que caen a la Tierra cada año (FAO, 2007a). Las cuencas hidrológicas (llámese cuenca, microcuenca, subcuenca, etc.) son excelentes unidades de manejo, ya que a través de ellas podemos entender las interrelaciones de los recursos naturales, el apropiamiento e impacto de estos últimos y la evaluación de las externalidades (Cotler y Priego, 2004). Por ser suprasistemas en los cuales una acción puede traer efecto dominó, la gestión integral en las cuencas juega un papel importante. Las poblaciones de las partes bajas se pueden ver afectadas por variaciones en la oferta de agua, esto debido a usos de suelo inadecuados provenientes de las cabeceras de cuenca (Porrás, 2003). Son unidades morfológicas que engloban todas las partes, su función ambiental radica en que albergan bancos de germoplasma, regulan la carga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, conservan la biodiversidad y mantienen la integridad de los suelos, entre otras (Granados et al., 2005).

Las áreas desprovistas de vegetación, con agricultura intensiva, ganaderas y urbanas producen impactos que causan problemas de calidad de agua en las cuencas hidrológicas (Benavides-Solorio et al., 2005).

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su respectivo reglamento marcan que el manejo de los recursos forestales debe planearse con base a la cuenca hidrográfica (Carrillo, 2008), en la práctica no hay un consenso entre dependencias gubernamentales, cada organismo tiene su propia regionalización, lo que dificulta aplicar programas de gestión (Cotler, 2004).

Una cuenca hidrológica bien gestionada no tiene porque depender de insumos externos. Dentro de una microcuenca debe haber productores

primarios, secundarios, terciarios, así como centros urbanos. Toda actividad primaria debe desarrollarse en las zonas planas o de menor pendiente.

La planeación del desarrollo desde las microcuencas es mucho menos compleja que desde un nivel regional más amplio, además se promueve la participación social de todos los sectores. Una cuenca hidrológica es el área geográfica drenada por un curso de agua, puede ser, desde unidades pequeñas como granjas por las cuales pasa un arroyo (microcuenca) hasta grandes ríos o lagos formados por depresiones (FAO, 2007a). Los tradicionales paisajes formados por las montañas que van a dar a los valles con arroyos y ríos fluyendo aguas abajo, también conocidas como áreas de drenaje, son las cuencas o zonas por las que escurre la lluvia hacia un río, lago, estuario, humedal, mar u océano, pueden tener varios miles de kilómetros cuadrados de superficie o unas pocas hectáreas (microcuencas), las cuencas más pequeñas por lo general son parte de una cuenca más grande (FAO, 2007a).

Las partes altas de las cuencas generalmente corresponden a terrenos montañosos, de topografía abrupta, cuya vegetación permite tener altas tasas de infiltración y recarga de mantos freáticos que permiten un flujo continuo durante la época de estiaje (Benavides-Solorio et al., 2005).

Las cuencas están potenciadas por la fuerza de gravedad, la cual hace que el agua fluya a favor de la pendiente (FAO, 2007a). Este proceso físico genera energía extra, lo cual hace a las cuencas altamente dinámicas y provoca que sean ecosistemas "verticales" complejos, no homogéneos, diversos, dinámicos y abiertos (Cotler y Priego, 2004; FAO, 2007a).

3.2.2. Manejo de cuencas

Cualquier acción humana tendiente a asegurar el uso sustentable de los recursos hídricos, las actividades humanas sustentables son esenciales para el balance ecológico de las cuencas hidrológicas (FAO, 2007a). Las consideraciones holísticas del agua, los bosques, los usos de la tierra y los

factores socioeconómicos son indispensables en el manejo de cuencas (Calder, 2007).

El entorno de las microcuencas debe ser abordado de manera integral – los usos del suelo, la participación de la gente, la deforestación, el sobrepastoreo, el avance de la frontera agrícola y el desarrollo esquilmante–, son impactos que se reflejan en los recursos naturales y los niveles hídricos (Pérez, 2004).

En el ámbito de la conservación y manejo de los recursos naturales, una cuenca hidrológica constituye la extensión territorial cuya topografía y geología en la cual se capta el agua, la cual define un área mínima indispensable de delimitación natural, que permite a su vez instrumentar una aproximación ecosistémica en el análisis, planeación, manejo y uso sustentable de los recursos hidrológicos (Arriaga et al., 2000).

3.3 Erosión

“El uso correcto de la tierra es el medio de control de la erosión” (R. P. C. Morgan). La remoción de la cobertura vegetal por causas tan diversas como la deforestación, el exceso de pastoreo, los incendios forestales y el desarrollo agrícola y turismo irresponsables trae como consecuencia la pérdida de suelo. Una vez que este último ha sido transportado por la acción hídrica o se ha depositado en otro sitio por la acción del viento, es necesario tomar medidas de mitigación rápidamente, de lo contrario será cada vez más difícil el establecimiento de la cobertura vegetal.

El suelo es el soporte de la vida terrestre, sin él, la cubierta vegetal tendría pocos medios de subsistencia, esto acarrearía composiciones florísticas pobres y bajas tasas de fijación de carbono, además de la fragmentación del hábitat. Cumple con funciones tan trascendentes, como la de formar un medio poroso capaz de regular el ciclo hidrológico (Cotler et al., 2005). Las propiedades del suelo pueden verse influenciadas por el tipo de pendiente y

exposición, estas últimas condicionan la escorrentía y la producción de sedimentos (Cotler et al., 2005).

La mayoría de los estudios de erosión de suelo se han gestado en experimentos agrícolas y no en áreas naturales, la erosión constituye uno de los procesos dominantes de la degradación del paisaje en estas últimas (Kirkby, 1991a).

Múltiples son los factores que determinan la pérdida de suelo, por ejemplo: la intensidad y la duración de la lluvia, la distribución del tamaño de las partículas, la textura, el tipo de suelo, la estructura superficial y la pendiente (Evans, 1991; Thornes, 1991; Maderey, 2005).

La compactación juega un papel importante en la pérdida de suelo, ya que al no haber infiltración, el agua escurrirá llevándose partículas suspendidas. Estas últimas serán depositadas en el cauce de los ríos y en la infraestructura hidroagrícola causando azolvamiento (Casillas, 2004).

La protección contra la erosión es mayor a medida que aumenta el porte y la densidad de la vegetación (Villegas, 2004).

3.3.1. Producción de sedimento

Es el flujo total de sedimentos de una cuenca hidrológica durante un tiempo determinado, puede ser medido por volumen o dinámicamente, en puntos cuidadosamente seleccionados y representativos, o bien en estaciones de medición (De Ploey y Gabriels, 1991). Aunque la producción de sedimento o pérdida de suelo es grave, no necesariamente significa una pérdida definitiva, ya que las partículas se pueden depositar en diversos sitios de la cuenca hidrológica (Kirkby, 1991; Morgan, 1991).

La erosión es un problema que deteriora grandemente los recursos naturales, conlleva a la creación de parches o manchones sin vegetación, estos últimos son una amenaza para la biodiversidad, ya que aceleran la fragmentación del hábitat en los ecosistemas. Cada año se pierden 24,000 millones de toneladas de suelo de tierras de cultivo; ello equivale a una

superficie aproximada a la mitad de China (Brown, 2001). Se considera que tales pérdidas de suelo se desplazan hacia las partes bajas de las cuencas e incluso pueden llegar hasta el mar. Fournier (1960), estima pérdidas de 1,000 a 2,000 t km⁻² año⁻¹ para el occidente de México.

Los dos agentes de erosión más importantes son el escurrimiento y el viento (erosión hídrica y eólica), estos agentes traen como consecuencia que cada vez sea más difícil el establecimiento de la cobertura vegetal y por ende se limite la capacidad de infiltración. De manera natural se produce cierta erosión, pero las plantas, con sus raíces, fijan las partículas de suelo y evitan su desplazamiento y la erosión excesiva (Boada, 2003). La pérdida de cobertura vegetal provoca un mayor escurrimiento y por lo tanto un mayor arrastre de partículas de suelo. La densidad de la vegetación en la superficie del terreno y los bosques en especial ofrecen resistencia al flujo terrestre, así se reduce la velocidad de este y se favorece el asentamiento de las partículas (Granados, 2001; Calder, 2002; Bruijnzeel, 2004; Calder, 2007; Calder et al., 2007; Stolton y Dudley, 2007; Van Dijk y Keenan, 2007; Vigiak et al., 2007). El sustituir especies perennes por herbáceas anuales incrementa la superficie de pérdida de agua y facilita la erosión y el transporte de partículas (Herrerías y Benítez-Malvido, 2005).

La medición directa (empírica) es el mejor método para obtener valores de producción de sedimento, pero es costosa (Kirkby, 1991). A menudo es necesario estimar la producción de sedimentos usando métodos predictivos o modelos matemáticos (Kirkby, 1991).

3.4 Sustentabilidad

La sustentabilidad es uno de los mayores retos o "paradigmas" que tarde o temprano deberemos afrontar. Se ha vuelto común hablar de sustentabilidad cuando nos referimos al medio ambiente, a como nos desenvolvemos en nuestra sociedad, a que tan éticos somos al consumir, preguntarnos qué clase

de desarrollo queremos e identificar las condiciones necesarias para que el sistema sea capaz de progresar (Curiel y Garibay, 2006).

La incertidumbre en la tenencia de la tierra, es una de las mayores problemáticas en la planificación de las actividades con propósitos de conservación y de ordenación forestal sostenible a nivel global (Watkins e Imbumi, 2007). La alta relevancia de las amenidades de los bosques provoca un uso directo no extractivo, que puede y debe ser sustentable (Robert et al., 2001), este uso debe recaer en la observación, la supervisión, el aprendizaje y la acción (Vanclay et al., 2006).

Existen numerosos indicadores de sustentabilidad, entre estos están los territoriales, sociales, económicos y medioambientales (Troitiño, 1993; Sánchez et al., 2001; Macías, 2004; Palacio-Prieto et al., 2004a, 2004b; Curiel y Garibay, 2006). Estos indicadores nos muestran realmente lo que acontece a nuestro alrededor y nos dan una idea clara del estado actual de las cosas.

Dentro de los numerosos indicadores de sustentabilidad existe la determinación de emisiones atmosféricas, pérdida de tierra agrícola, disponibilidad y niveles de contaminación del agua, cantidad de desechos per cápita, etc. (Macías, 2004). Determinar los parámetros hidrológicos y considerarlos como referencia de las condiciones forestales de una microcuenca puede ser una buena fuente de supervisión medioambiental y por lo tanto un buen indicador de sustentabilidad (Benavides et al., 2005; Carabias et al., 2005).

En un contexto global existen estudios que ejemplifican que el abordaje de la sustentabilidad de las cuencas hidrológicas requiere una aproximación holística e integrada que incluya aspectos físicos, ambientales, sociales y económicos. Por ejemplo, Malagnoux et al. (2007), citan el caso de Yatir (270 mm año⁻¹), en Israel, donde se plantaron 3,000 ha de *Pinus halepensis* y donde los árboles consumieron toda el agua de la cuenca. Las reforestaciones pueden atender contra la seguridad hídrica al reducir el escurrimiento local, aunque también suelen beneficiar la recarga de los acuíferos (Van Dijk y Keenan, 2007). Se han formulado quejas ante la disminución de los niveles de las aguas

de pozo a consecuencia de los proyectos de reforestación que persiguen mejorar la situación de las cuencas hidrológicas, a tal grado que algunos gobiernos han decidido talar árboles para disponer de agua (Calder et al., 2007; Donovan, 2007). Si bien los bosques son grandes consumidores de agua, no hay duda de que estos regulan la calidad de la misma.

3.5 Las Áreas Naturales Protegidas

La reserva de zonas encaminadas a la conservación fue muy común en la época prehispánica (De la Maza, 2007). Existen registros de que Nezahualcóyotl limitó la obtención de leña y la cacería de los bosques de su propiedad llegando a imponer la pena de muerte a los que se atrevieran a desobedecer, así mismo los mayas seleccionaban zonas de cultivo que posteriormente enriquecían con palmas y árboles (De la Maza, 2007).

En 1876 Sebastián Lerdo de Tejada dispuso del Desierto de los Leones para establecer la primer área natural protegida del México post-independentista, reconociendo su gran valor para la capital del país por sus bosques y manantiales, en aquel tiempo se prohibieron los aprovechamientos forestales y el cambio de uso de suelo (Peña et al., 1998; De la Maza, 2007). En 1926, la primer Ley Forestal contemplaba legalmente las áreas protegidas y la importancia de resguardar los recursos naturales (Peña et al., 1998). De 1934 a 1940, durante el período del presidente Lázaro Cárdenas se crean 82 parques nacionales y reservas forestales, posteriormente, durante la administración del presidente Ernesto Zedillo (1994-2000), se da énfasis en la importancia del establecimiento y el manejo de las áreas naturales protegidas, lo que conlleva a la descentralización y rehabilitación de los parques nacionales (Villavicencio, 2007). Actualmente, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), administra 174 áreas naturales en 25'384,818 hectáreas y se encarga de velar por las relaciones existentes entre agua, aire,

suelo, recursos forestales y biodiversidad con los aspectos socioeconómicos de las regiones destinadas a la conservación (Conanap, 2010; 2010a).

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son todas aquellas porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional reservadas a la conservación y mantenimiento de diferentes ecosistemas y de su biodiversidad (Semarnap, 1995). Se caracterizan por albergar alta diversidad biológica, en las cuales uno de los fines que persigue su conservación es no interrumpir los procesos ecológicos de las especies nativas y mantener la estructura de las reservas arbóreas (Villavicencio, 2005). En México es un término legal de conservación que incluye las categorías: Reservas de la biosfera, Parques nacionales, Monumentos naturales, Áreas de protección de recursos naturales, Áreas de protección de flora y fauna y Santuarios. Si bien les compete un estatus legal de conservación, algunas ANP han presentado tasas de deforestación más altas que las tierras bajo manejo forestal y en ocasiones no significa que la gestión de las mismas sea sustentable (Consejo et al., 1995; Bray et al., 2008; Vanclay et al., 2008). Las ANP mal administradas y las tierras bajo manejo forestal irresponsable no representan una buena estrategia de conservación (Bray et al., 2008).

El objetivo de las ANP es la protección y la conservación de los valores biológicos y los servicios ambientales, tan necesarios para la población presente y futura (Palacio-Prieto et al., 2004; Chacón et al., 2007). También pueden servir, para proteger ecosistemas distintivos o que contienen flora o fauna propias de alguna región y como puntos de referencia medibles y observables a lo largo del tiempo (Gallegos et al., 1998; 1998a; Peña et al., 1998; Scott et al., 1998). La creación de un ANP implica resguardar los ecosistemas más delicados, asegurando los procesos ecológicos, la continuidad evolutiva y la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad, también propiciar la investigación científica y la protección de vestigios arqueológicos, entre otras medidas de conservación y preservación (Peña et al., 1998; Peña, 2009).

3.6 Los servicios ambientales

Los servicios ambientales son las circunstancias y procesos naturales de los ecosistemas por medio de los cuales el hombre obtiene algún beneficio, mantienen la biodiversidad y la producción de bienes tales como alimento, agua, madera, combustibles y fibras (Loa et al., 1998).

Los servicios de los sistemas ecológicos y el capital natural son críticos para el funcionamiento de la vida en la Tierra, contribuyen al bienestar humano y representan parte del valor económico total del planeta (Costanza et al., 1997). El valor de la biosfera y de los beneficios que provee una hectárea de bosque, como un mínimo estimado y que muchas de las veces no se inserta en el mercado, se ha calculado entre 16 y 54 millones de millones (10^{12}) y 969 dólares (USD) por año respectivamente (Costanza et al., 1997).

Tan solo con la existencia de las áreas naturales estas ofrecen una diversa cantidad de servicios y procesos que benefician al ser humano: hábitat para un sinnúmero de especies, disponibilidad de germoplasma, fijación de carbono, regulación el ciclo hidrológico y protección contra la erosión, también proveen de amenidades como: paisaje, recreación y valores culturales y filosóficos, además de materiales y forraje (Robert et al., 2001; Torres y Guevara, 2002; Freeman, 2003; García et al., 2006). Este conjunto de servicios es fundamental para el desarrollo económico y social (WGIWRM, 2006).

Entre los servicios mejor reconocidos que proveen los bosques –aún en bosques insertos en amplios paisajes con diferentes usos de suelo–, se encuentran la protección de la calidad del agua, la regulación de los flujos y el mantenimiento de la vida acuática (Landell-Mills y Porras, 2002).

La creciente demanda de agua limpia merma la capacidad de producción de los ecosistemas, por eso es preferible manejar los impactos humanos (Freeman, 2003; WGIWRM, 2006). En los últimos años, mecanismos de financiamiento y pago por servicios ambientales han sido identificados para mitigar las externalidades y los errores en el manejo de los ecosistemas, así como para generar recursos económicos, equidad social e incentivos que

envuelvan a los gobiernos nacionales y locales, al sector privado, grupos campesinos, donadores altruistas y organismos no gubernamentales en la conservación de los ecosistemas (WGIWRM, 2006).

El uso de un servicio ambiental, o la protección de un bioma, trae como consecuencia la disminución de algo, en este tenor, los bosques maduros o muy densos al interceptar el agua proveniente de la lluvia disminuirán la oferta a los pobladores de la cuenca (Freeman, 2003).

El agua escurrida no se puede considerar parte del servicio ambiental, ya que esta es considerada una pérdida porque no logró ser interceptada (Torres y Guevara, 2002). La infiltración es parte de la captura de agua y un servicio ambiental que ofertan los bosques, la cantidad de agua infiltrada o percolada posteriormente será ofertada a los usuarios (Torres y Guevara, 2002).

3.6.1. Valoración de los servicios ambientales

Visualizar el peor escenario si no se contara con algún servicio ambiental –por ejemplo, la no protección de los bosques contra la erosión y el posterior azolvamiento de ríos y presas –, puede ser válido a la hora de asignar valores económicos a los servicios ambientales (Freeman, 2003). Otro modo sería la determinación del costo de replicar una biosfera artificial (Costanza et al., 1997).

La vulnerabilidad de los ecosistemas y el acelerado deterioro ambiental han ocasionado una tendencia global de estrategias, adoptadas por un sinnúmero de gobiernos, tendientes a la mitigación.

El creciente desastre ecológico y la conciencia adquirida por gobiernos y ciudadanos han llevado a la implementación de diversos mecanismos para retribuir al que haga algo por mejorar su entorno. El pago por servicios ambientales (PSA) puede ser una alternativa, siempre y cuando se compense el costo de oportunidad, se genere la cantidad de dinero idónea o se establezcan incentivos (Martínez de Anguita et al., 2006; Vanclay et al., 2006). El principio fundamental del PSA es simple: el que provee debe ser compensado por el que disfruta (Stolton y Dudley, 2007). El que tenga los derechos de un predio

forestal bien conservado puede ser candidato de recibir un pago en dinero o especie, además, las áreas forestales degradadas, que carecen de cobertura o que han sido fuertemente degradadas, son grandes candidatas a entrar en alguna modalidad de pago por servicios ambientales (Conafor, 2008).

El PSA puede revertir el desabasto y la degradación ambiental por medio de una lógica de mercado que arroje la cantidad de dinero adecuada (Martínez de Anguita et al., 2006). La ecuación de viabilidad de un sistema PSA puede definirse como sigue:

$$PSA = CP + OI + CE + CI + CC + CC'$$

donde, *PSA*, pago por servicio ambiental, *CP*, es igual a la capacidad de pago, *OI*, financiamiento externo u otros ingresos, *CE*, costo de ejecución, *CI*, costo de instalación, *CC*, costo de conservación y mejora ambiental y *CC'*, costo de concienciación (Martínez de Anguita et al., 2006).

3.7 La calidad del agua

La concentración y la composición de los constituyentes disueltos determinan la calidad del agua para riego, esta última es una consideración muy importante en materia de investigación (Allison et al., 1982).

El uso de aguas superficiales para riego y los cambios en las prácticas de manejo causan problemas serios debido a la calidad de las aguas. La baja calidad de las aguas superficiales y subterráneas es un factor que limita de manera considerable las áreas de riego (Allison et al., 1982).

La tendencia a usar toda agua disponible puede provocar que las aguas de los ríos no contaminadas puedan cambiar a una proporción considerable de flujo revolvente de pobre calidad. Es necesario disponer de información detallada respecto a la calidad del agua de riego y el efecto de esta sobre el suelo y los cultivos (Allison et al., 1982).

El uso de aguas moderada a altamente salinas puede causar, aún cuando el drenaje sea satisfactorio, condiciones de salinidad. Las propiedades

de transmisión del agua, el drenaje del suelo y la tolerancia a las sales de los cultivos son factores importantes en la evaluación de aguas para riego (Allison et al., 1982).

3.7.1. La clasificación de aguas para riego

- 1) Agua de baja salinidad (C_1): puede usarse para riego en la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad.
- 2) Agua de salinidad media (C_2): puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.
- 3) Agua altamente salina (C_3): no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas de control de salinidad, se deben seleccionar cultivos muy tolerantes a las sales.
- 4) Agua muy altamente salina (C_4): no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado y deberá aplicarse agua en exceso para lograr un buen lavado.
- 5) Agua baja en sodio (S_1): pueden usarse para el riego de la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles como algunos frutales pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.
- 6) Agua media en sodio (S_2): en suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo podrán usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

- 7) Agua alta en sodio (S_3): puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable, en la mayor parte de los suelos. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas.
- 8) Agua muy alta en sodio (S_4): es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media. El agua de riego puede disolver un buen porcentaje de calcio en los suelos calcáreos, de tal manera que disminuye notablemente el peligro por sodio.

Las características más importantes a tomar en cuenta en la calidad del agua para riego son: 1) la concentración total de sales solubles; 2) la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes; 3) la concentración de boro u otros elementos y 4) la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio (Allison et al., 1982).

3.8 Análisis estadístico

3.8.1. Prueba de análisis de varianza

Cuando las mediciones de una variable se obtienen de tres o más muestras, o de tres o más poblaciones se requiere de un análisis de muestras múltiples; no es válido utilizar pares de muestras para probar una hipótesis múltiple (Zar, 1999; Martínez y Yanguas, 2001).

Propuesto por Sir Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), el análisis de la varianza (ANOVA) es una amplia área de métodos estadísticos y un procedimiento analítico en el cual se subdivide la variación total de una determinada respuesta para contrastar hipótesis de interés (Zar, 1999; Milton, 2001). Se utiliza como una prueba de las medias de dos o más poblaciones para comprender las diferencias en los valores de la variable dependiente asociada con el efecto de las variables independientes controladas, tomando en cuenta la influencia de las variables independientes no controladas; estudia la variación en la muestra (variable dependiente), determinando si hay algún

motivo para creer que las medias de la población difieren; en su forma más simple debe tener una variable dependiente que sea métrica (Malhotra, 1997). No contempla tamaños de muestra idénticos, aunque si se requiere cierta homogeneidad o estratificación (Zar 1999). La hipótesis nula indica que todas las medias son iguales (Malhotra, 1997). La relación del análisis de la varianza con otras técnicas se muestra en la Figura 1.

El procedimiento para realizar un análisis de varianza unidireccional comprende la identificación de las variables dependientes e independientes, la división de la variación total, las pruebas de significación y la interpretación de resultados (Malhotra, 1997; Zar, 1999).

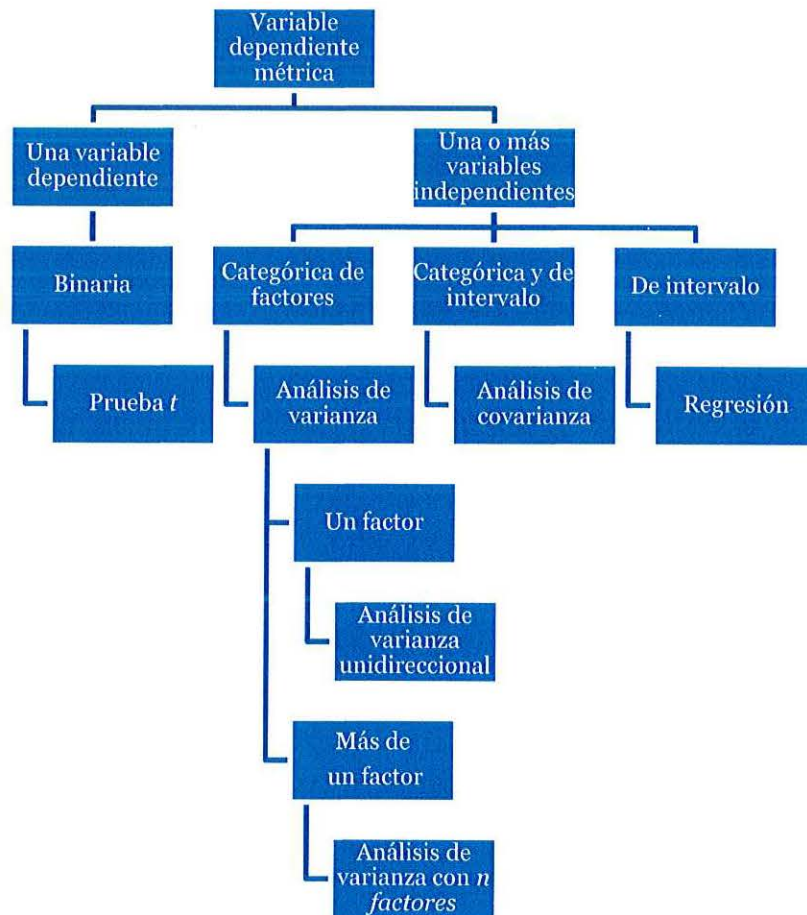


Figura 1. Relación del análisis de varianza con otras técnicas (Malhotra, 1997).

3.8.1.1. División de la variación total. Se mide con la suma de los cuadrados corregidos para la media (SS). La variación total en Y, (SS_Y), puede dividirse en dos componentes:

$$SS_Y = SS_{entre} + SS_{dentro}$$

donde, SS_{entre} , es la suma de los cuadrados en Y que se relaciona con la variable independiente o factor X, puede indicarse también como SS_x , SS_{dentro} , es la variación en Y relacionada con la variación dentro de cada categoría de X. La variación total en Y puede calcularse de la siguiente manera:

$$SS_Y = SS_{entre} + SS_{dentro}$$

$$SS_Y = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SS_x = \sum_{j=1}^c n (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{error} = \sum_j \sum_i (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y})^2$$

donde, Y_i , observación individual, \bar{Y}_j , es igual a la media de la categoría j , \bar{Y} , media de toda la muestra, o gran media, Y_{ij} , i ésima observación en la j ésima categoría.

3.8.1.2. Pruebas de significación. Sin duda uno de los pasos más importantes, contempla las pruebas de hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_c$$

la hipótesis nula puede probarse mediante la estadística F con base en la siguiente relación:

$$F = [SS_x / (c - 1)] / [SS_{error} / (N - c)] = MS_x / MS_{error}$$

esta estadística sigue la distribución F , con $(c - 1)$ y $(N - c)$ grados de libertad. La distribución F es una distribución de la probabilidad de las relaciones en las varianzas de la muestra.

3.8.1.3. Interpretación de resultados. Si la hipótesis nula de las medias no es rechazada, la variable independiente no tiene ningún efecto significativo sobre la variable dependiente (Malhotra, 1997).

3.8.2. Coeficiente de determinación, R^2

Una vez que el ANOVA muestra la diferencia entre las medias de los conjuntos de datos, es necesario analizar qué tan dependientes son los datos entre sí, en este caso, el ANOVA simple se queda corto (Martínez et al., 2001), ya que no define la magnitud de esa relación. La correlación y la regresión son temas importantes, ya que miden la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas (Martínez et al., 2001).

Se denomina coeficiente de determinación o R^2 , al porcentaje de la variable dependiente que es explicada por la variable independiente, compara la variabilidad total en Y , y lo explicado por la regresión Y sobre X (Malhotra, 1997; Zar, 1999; Martínez et al., 2001):

$$R^2 = SC_{regresión} / SC_{total}$$

donde: R^2 , es igual al coeficiente de determinación, $SC_{regresión}$, suma de los cuadrados de la regresión y SC_{total} , suma total de los cuadrados. Los coeficientes de determinación moderados tienen valores que van de 0.25 a 0.81, una correlación fuerte es de mínimo 0.9 (Milton, 2001). Cuanto más próximo a 1 sea el coeficiente de determinación mayor será la correlación entre las variables, R^2 es siempre positivo a diferencia del coeficiente de correlación de Pearson (r), que va de -1 a 1, $r = \sqrt{R^2}$ (Zar, 1999; Martínez et al., 2001).

3.8.3. Análisis multivariable

En el manejo de los recursos naturales pueden existir múltiples variables, la mayor parte de las cuales están correlacionadas y deben explicarse para facilitar el manejo. Un análisis que permita la segmentación de atributos subyacentes o características puede ser muy útil (Malhotra, 1997).

A diferencia del ANOVA y la correlación en el análisis factorial las variables no se clasifican como dependientes o independientes, se estudia todo el conjunto de relaciones interdependientes destacando las dimensiones o factores o la cantidad de varianza que una variable comparte con las demás (Malhotra, 1997). El análisis factorial se utiliza principalmente para explicar las correlaciones entre un conjunto de variables y para la identificación de variables no correlacionadas o sobresalientes (Malhotra, 1997).

En el análisis de una comunidad vegetal se establecen relaciones entre las diversas especies y una multitud de factores abióticos (luz, suelo, geomorfología, clima, etc.), lo cual le confiere un enfoque multivariado a los estudios de la vegetación (Gauch, 1982; Zavala-Hurtado, 1986); esto deriva en un conjunto de datos complejos, que en los últimos años han sido abordados mediante la utilización de métodos formales estadísticos y matemáticos y sobre todo métodos de análisis multivariado, que con el creciente uso de programas de cómputo han facilitado el proceso de análisis.

El análisis multivariado es un conjunto de técnicas estadísticas para el análisis simultáneo de más de una variable independiente, que tiene por objeto simplificar y ordenar un conjunto de datos (Zavala-Hurtado, 1986). Dentro de estos métodos de análisis, la ordenación es una estrategia multivariada básica que emplean una matriz de datos, que es una estructura de números en dos sentidos, en la que comúnmente se organiza a las especies en renglones y las muestras en columnas (ej. una matriz de datos de especies por muestras, puede involucrar la observación de la abundancia de un número de especies en un número de muestras). Dicha matriz de datos es el elemento que condensa el

conjunto de datos a partir del cual se realiza la manipulación matemática (Gauch, 1982).

Con la ordenación se intenta reducir patrones complejos de datos de vegetación, a formas más simples e interpretables arreglando muestras o especies a lo largo de uno o más ejes continuos (Gauch, 1982; Matteucci y Colma, 1982; Zavala-Hurtado, 1986). La posición de las muestras está determinada por su composición de atributos y la de las especies por su distribución en las muestras; las especies y muestras similares, se encuentran cercanas entre sí y distantes de entidades diferentes.

La ordenación indirecta, es el arreglo de especies o muestras de vegetación a lo largo de gradientes (ejes) abstractos, definidos a partir de las especies o de las muestras mismas. Se espera que estos ejes representen gradientes ambientales tal como son percibidos por la vegetación. De éstas representaciones gráficas es posible detectar por inspección visual diferentes patrones de ordenación de la vegetación (agrupaciones, disposición secuencial de las muestras a lo largo de un gradiente, etc.), usualmente en dos dimensiones, en la cual muestras ó especies similares ó ambas están cerca una de la otra y separadas de entidades disímiles. Entre las técnicas más comunes el análisis de componentes principales, es un método matemático en el que se transforman los ejes de un espacio multidimensional de forma tal que el primer eje transformado explica la cantidad máxima de varianza, el segundo (ortogonal al primero) explica el máximo de varianza restante y así sucesivamente.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

4.1.1. Características físicas del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera

El Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP) se ubica entre los paralelos 20°32' a 20°44' N y 103°28' a 103°42' W (Figura 2). Su intervalo altitudinal varía de 1320 a 2260 m y cubre una superficie aproximada de 30,500 hectáreas, entre los municipios de El Arenal, Tala, Zapopan y Tlajomulco de Zúñiga del estado de Jalisco. El clima predominante es del tipo templado subhúmedo C(w₂)(w), en las porciones altas de la caldera volcánica y semicálido subhúmedo (A)C(w₁)(w) en la periferia de esta; ambos con lluvias en verano y con menos de 5% de precipitación en invierno (García, 1973); a su vez se corresponde a la zona de vida bh-PM (bosque húmedo premontano) de la clasificación de Holdridge (1996). La temperatura máxima y mínima para los meses de mayo, junio y julio es de 30° y 15°C, respectivamente. La temperatura media anual es de 20.6° ± 6.5 °C, siendo el mes más frío enero y el más cálido junio (Semarnat, 2000). La precipitación fluctúa entre los 900 y 1000 mm con 60-89 días de lluvia. La evapotranspiración potencial de junio a octubre se estima en 600 a 700 mm, mientras que la evaporación anual puede llegar a >2200 mm (Villalpando y García, 1993). Por sus características torrenciales, el 77% de las lluvias se consideran de tipo erosivo (Semarnat, 2000).

El APFFLP está integrada junto con su área de influencia a dos regiones hidrológicas (Lerma-Santiago y Río Ameca); este complejo serrano de origen volcánico se formó en el Pleistoceno tardío (126,000 a 27,000 años),

pertenece a la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Mexicana, se ubica en la intersección del corredor formado por el Río Grande de Santiago y la Sierra Madre Occidental y en la confluencia de los reinos biogeográficos Neártico y Neotropical, se caracteriza por sus flujos de ceniza “Toba Tala” o ignimbrita de Río Caliente (Maciel y Rosas, 2002; Maciel, 2006).

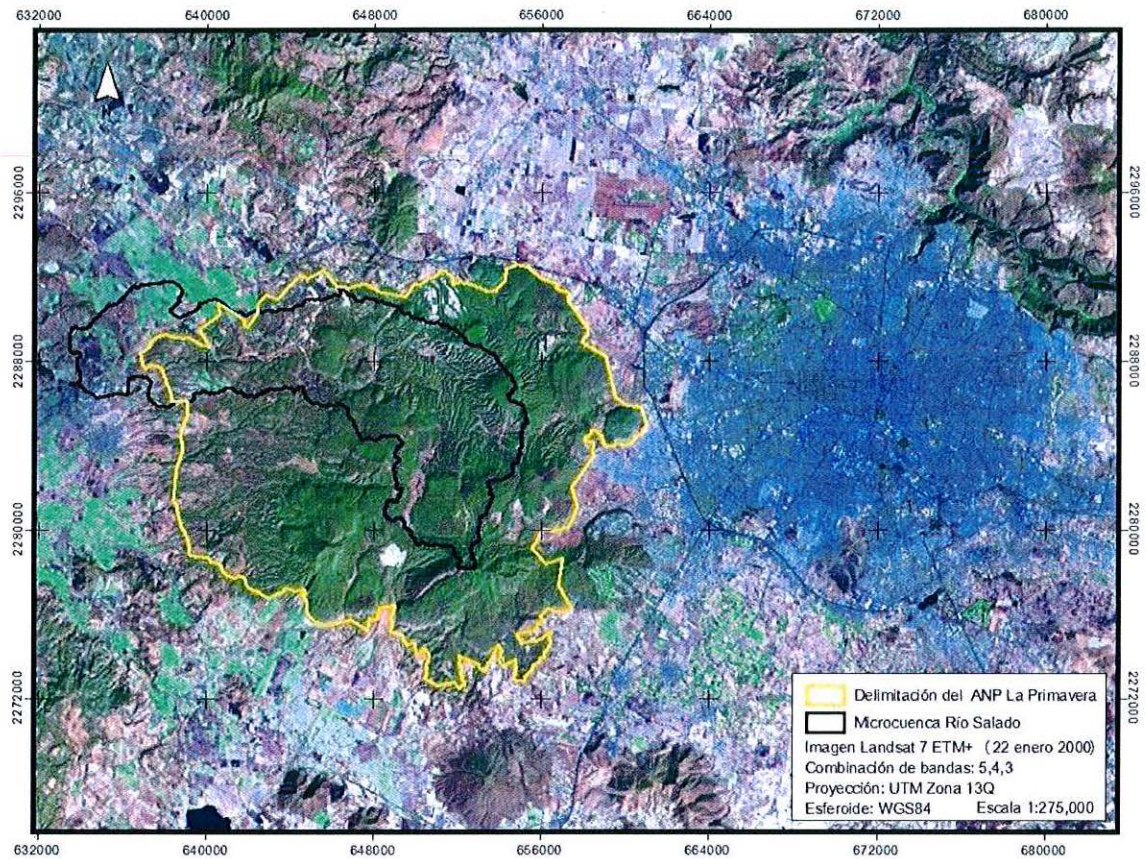


Figura 2. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera y en su interior la delimitación de la microcuenca del Río Salado. A la derecha la zona metropolitana de Guadalajara (Fuente: Villavicencio et al., 2007).

4.1.2. Características biológicas del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera

La vegetación dominante del APFFLP está compuesta por mezclas de pino (*Pinus oocarpa* y *Pinus devoniana*) y encino (robles de hoja ancha: *Quercus resinosa*, *Q. coccolobifolia*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa* y *Q. magnoliifolia*) principalmente, pudiéndose encontrar masas puras de estas especies. El cauce

del Río Salado está cubierto en su mayoría de bosque de galería en el cual predomina el sauce (*Salix humboldtiana*) y el tepehuaje (*Lysiloma acapulcensis*), se detectan algunos remanentes de bosque tropical caducifolio al sur del APFFLP y en la misma exposición del cerro El Colli, donde predominan los zalates o higueras como: *Ficus cotinifolia* y *F. petiolaris*.

La flora está compuesta por 106 familias, con 393 géneros y 849 especies que representan el 14.5 % del total que se estiman para Jalisco (Ramírez et al., 2006). Entre los principales elementos se encuentran los siguientes géneros: *Desmodium*, *Solanum*, *Aristida*, *Ficus*, *Physalis*, *Ipomoea*, *Euphorbia*, *Muhlenbergia*, *Quercus*, *Dalea*, *Eragrostis*, *Pseudognaphalium*, *Eupatorium*, *Verbesina*, *Salvia*, *Sida*, *Asclepias*, *Tagetes*, *Bletia*, *Acalypha*, *Hyptis*, *Cheilanthes*, *Pinus*, *Begonia*, *Bursera*, *Acacia*, *Crotalaria*, *Panicum*, *Baccharis*, *Bidens*, *Brickellia*, *Cosmos*, *Perezia*, *Aeschynomene*, *Calliandra*, *Mimosa* y *Phaseolus* (Ramírez et al., 2006).

Las especies de fauna presentes en el APFFLP son: 38 especies de mamíferos entre estos, zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), coyote (*Canis latrans*), puma (*Puma concolor*), yaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), lince (*Lynx rufus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), pecarí de collar (*Pecari tajacu*), mapache (*Procyon lotor*), coatí (*Nasua narica*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), zorrillo (*Mephitis macroura*), comadreja (*Mustela frenata*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), ardilla (*Spermophilus variegatus*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), tuza (*Pappogeomys gymnurus*), meteorito (*Microtus mexicanus*) (Semarnat, 2000; Aguilar, 2008); 134 especies de aves entre las cuales destacan el carpintero bellotero (*Melanerpes formicivorus*) y el halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*); 32 especies de reptiles como el falso coralillo (*Lampropeltis triangulum nelsoni*), víbora de cascabel (*Crotalus basiliscus*), chirrionera (*Coluber mentovarius striolatus*), culebra de agua, alicante (*Pituophis deppei deppei*) y 9 especies de anfibios (Reyna et al., 2007), entre otros.

4.1.3. Características físicas y forestales de de la microcuenca del Río Salado

De acuerdo con la caracterización física y morfométrica de la microcuenca del Río Salado (MRS) realizada por Villavicencio et al. (2007), esta cubre una superficie de 123.80 km², la cual comprende 40% del APFFLP (Figura 3), registra una elevación y pendiente medias de 1648 m y 11.5 grados respectivamente, su cauce principal y el eje axial tienen una longitud de 22.5 km y 26.3 km respectivamente, tiene un perímetro de 101.3 km con un intervalo altitudinal que va de 1320 a 2260 msnm y cuenta con 237 corrientes de primer orden, 51 de segundo, 14 de tercero, dos de cuarto y una de quinto. El tiempo de concentración estimado del cauce principal es de 145 a 240 minutos; la extensión de la cuenca está estimada en 26 km de largo por 5 km de ancho; de acuerdo con Torres (1984), la cuenca presenta una figura irregular y alargada en sentido este-oeste, por lo que su índice de forma es 5.2. El cauce principal es una corriente perenne de quinto orden y existen dos corrientes intermitentes de tercer orden con una longitud de seis kilómetros cada una.

Mediante la conformación de un modelo indirecto de infiltración-escurrimiento a través de un sistema de información geográfica, el volumen de captación neta de precipitación pluvial para toda la MRS se ha determinado en 121.3 Mm⁻³ (Villavicencio et al., 2007).

Mediante interpretación y digitalización de una ortofotografía color infrarrojo del año 2002, se definieron cuatro formaciones boscosas de acuerdo a la densidad de cobertura de copa, definiéndose de tal manera, coberturas forestales de menores a 25%, de 25-50%, de 50-75% y mayores a 75% y otros usos de suelo (Figura 4).

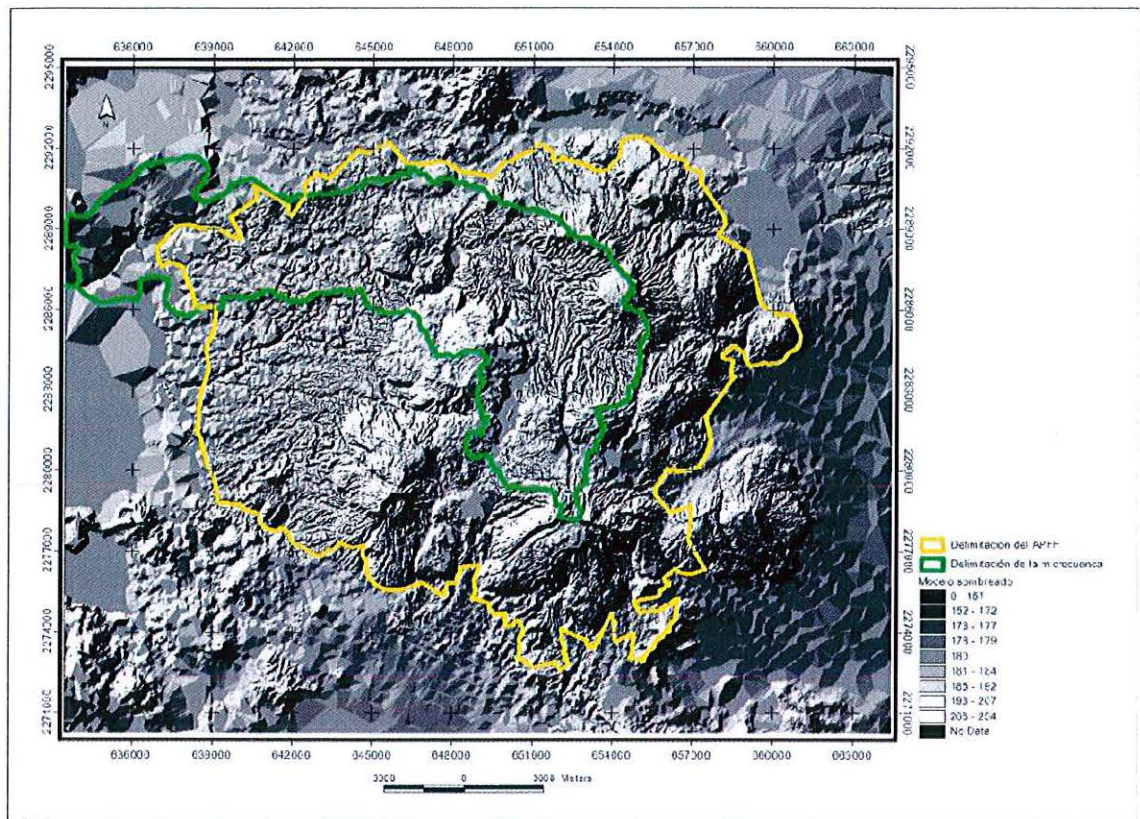


Figura 3. Modelo de elevación del terreno de la microcuenca del Río Salado (Santiago et al., 2006).

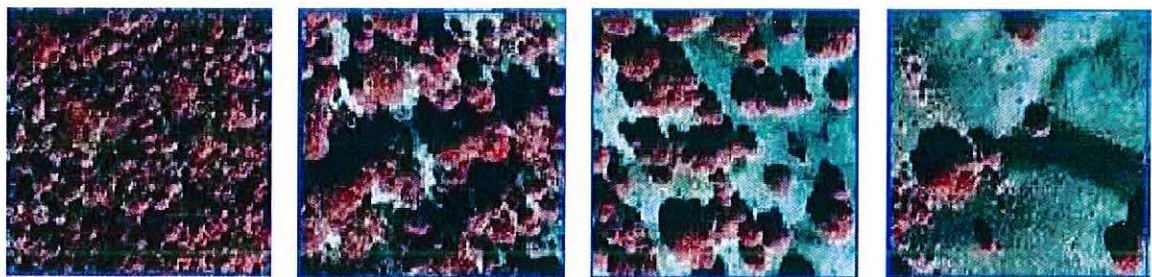


Figura 4. Ejemplos de cobertura forestal; de izquierda a derecha >75%, 50-75%, 25-50% y <25%; cada cuadro equivale a una hectárea.

La metodología utilizada para la estratificación de la vegetación por densidad de cobertura de la MRS (Figura 5), así como los detalles del inventario forestal pueden consultarse en Santiago et al. (2006) y Villavicencio et al. (2007).

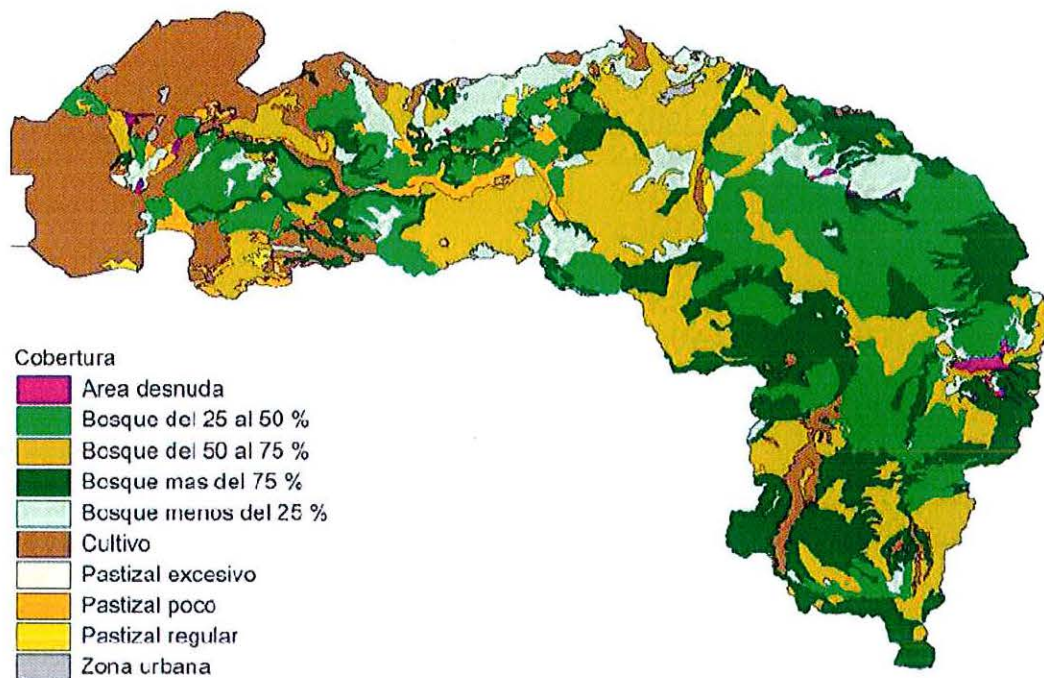


Figura 5. Tipo de cobertura de la microcuenca del Río Salado (Santiago et al., 2006).

Las coberturas forestales o arboladas cubren el 78.2% de la MRS, mientras que el 21.8% restante está ocupada por áreas abiertas con mayor impacto de actividad humana para usos diversos (Cuadro 1).

Los suelos de la MRS se consideran predominantemente endógenos (en menor medida exógenos), debido a que se originaron a partir de depósitos de cenizas volcánicas de los periodos Terciario superior y Cuaternario; por su grado de evolución los perfiles son simples y jóvenes a recientes (Miramontes y Topete-Ángel, 1987). Las unidades de suelo predominantes son: regosoles (82%), feozems (11.9%), luvisol 4.7% y fluvisol (1%) (Cuadro 2). El tipo de exposición principal es la zenital (25.6%), seguido de sur, oeste y noroeste con 12.1, 12 y 10.2% respectivamente (Cuadro 2).

La composición florística del arbolado se compone principalmente por ocho especies: *Pinus oocarpa* Scheide ex. Schltdl., *Quercus resinosa* Liebm, *Q. magnoliifolia* Née, *Q. viminea* Trel., *Q. coccolobifolia* Trel., *Acacia pennatula* (Schlecht. & Cham) Benth., *Clethra rosei* Britton y *Comarostaphylis glaucescens* (Kunth) Zucc. ex Klotz (Santiago et al., 2006).

Cuadro 1. Tipo de cobertura de la microcuenca del Río Salado (Santiago et al., 2006).

| Tipo de cobertura | Superficie | |
|-------------------------------|------------------|------------|
| | (ha) | % |
| Bosque >75% | 2,652.46 | 21.4 |
| Bosque 50-75% | 3,068.08 | 24.8 |
| Bosque 25-50% | 2,859.97 | 23.1 |
| Bosque <25% | 1,095.71 | 8.9 |
| Pastizal poco | 394.11 | 3.2 |
| Pastizal regular | 86.02 | 0.7 |
| Pastizal excesivo | 19.30 | 0.2 |
| Agricultura | 2,084.79 | 16.8 |
| Áreas sin vegetación aparente | 66.48 | 0.5 |
| Zona urbana | 53.42 | 0.4 |
| Total | 12,380.37 | 100 |

Cuadro 2. Tipo de suelo y exposición de la microcuenca del Río Salado (Santiago et al., 2006).

| Tipo de suelo | Superficie | | Exposición | Superficie | |
|------------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|
| | (ha) | (%) | | (ha) | (%) |
| Feozem háplico | 1,318.12 | 10.6 | Zenital | 3,163.75 | 25.6 |
| Feozem calcárico | 167 | 1.3 | Norte | 869.48 | 7 |
| Fluvisol eútrico | 117.8 | 1 | Noreste | 758.2 | 6.1 |
| Luvisol crómico | 586.36 | 4.7 | Este | 885.2 | 7.2 |
| Regosol dístico | 9.42 | 0.1 | Sureste | 1,065.59 | 8.6 |
| Regosol eútrico | 10,181.67 | 82.2 | Sur | 1,501.83 | 12.1 |
| | | | Suroeste | 1,379.29 | 11.1 |
| | | | Oeste | 1,490.38 | 12 |
| | | | Noroeste | 1,266.62 | 10.2 |
| Total | 12,380.37 | 100 | | 12,380.37 | 100 |

La especie con mayor número de individuos y valores más altos de importancia ecológica es *Quercus resinosa* en las coberturas <25% y 50-75%; *Pinus oocarpa* le sigue en orden de importancia en las coberturas <25% y >75%.

Conforme aumenta la densidad disminuye el diámetro del arbolado, por otro lado, la densidad y la dominancia de las especies disminuyen conforme se reduce la densidad de cobertura (Cuadro 3) (Ortega et al., 2008).

Cuadro 3. Características dasométricas por tipo de cobertura forestal en la microcuenca del Río Salado (Ortega et al., 2008).

| Cobertura | Especies | N/ha | G/ha (m ²) | h (m) | d (cm) |
|-----------|----------|------|------------------------|-------|--------|
| <25% | 6 | 112 | 7.78 | 9.8 | 25.7 |
| 25-50% | 7 | 175 | 7.92 | 10 | 22.2 |
| 50-75% | 7 | 533 | 13.39 | 9.5 | 16.3 |
| >75% | 6 | 611 | 17.26 | 9.5 | 17.3 |

G=área basal, h=altura, d=diámetro

4.2. Diseño del muestreo

4.2.1. Captación, retención y escurrimiento

Con el fin de captar el escurrimiento superficial se establecieron 24 lotes de un metro cuadrado delimitados con tablas de madera (Figura 6), cuatro por cada uno de los seis principales tipos de cobertura (Bosque <25%, Bosque 25-50%, Bosque 50-75%, Bosque >75%, Pastizal y Sin vegetación), la ubicación de los lotes tuvo como criterio representar las diferentes condiciones físicas de la MRS (Figura 7a y 7b). Para captar el agua de lluvia se colocó un tubo de policloruro de vinilo (PVC) de dos pulgadas de ancho por 50 centímetros de largo por cada lote. Los tubos de PVC fueron colocados sobre una varilla de acero a 50 centímetros del suelo.

Después de cada evento de lluvia el escurrimiento y la precipitación fueron medidos en todos los lotes. En la parte baja de los lotes se instaló un vertedor hacia un recipiente de plástico de cinco galones (US) (Figura 8). El agua captada en el tubo de PVC era vertida en una probeta graduada en mililitros. El cálculo de la precipitación, P , se obtuvo de la siguiente manera:

$$P = (ml / 1,000) / A$$

donde: P , es igual a la precipitación en milímetros, ml , indica la lectura en mililitros de cada evento y A , es igual al área de la probeta (29.22 cm²). El



Figura 6. Establecimiento de los lotes de escurrimiento.

volumen de escurrimiento superficial se obtuvo de la *a* a partir del agua captada en el recipiente de plástico, durante los meses de julio, agosto, septiembre y parte de octubre de 2007, así como la precipitación y la retención. Para el cálculo de la retención se utilizó el método indirecto de acuerdo a las especificaciones de la NOM-011-CNA-2000, *retención = precipitación – escurrimiento*.

Adicionalmente se calculó el escurrimiento de toda la microcuenca con el método de Anaya et al. (1977), a saber:

$$Vm = A C Pm$$

donde, *Vm*, volumen medio anual escurrido en miles de metro cúbicos, *A*, área de la microcuenca en kilómetros cuadrados, *C*, coeficiente de escurrimiento que varía de 0.1 a 1.0, *Pm*, precipitación media en milímetros.

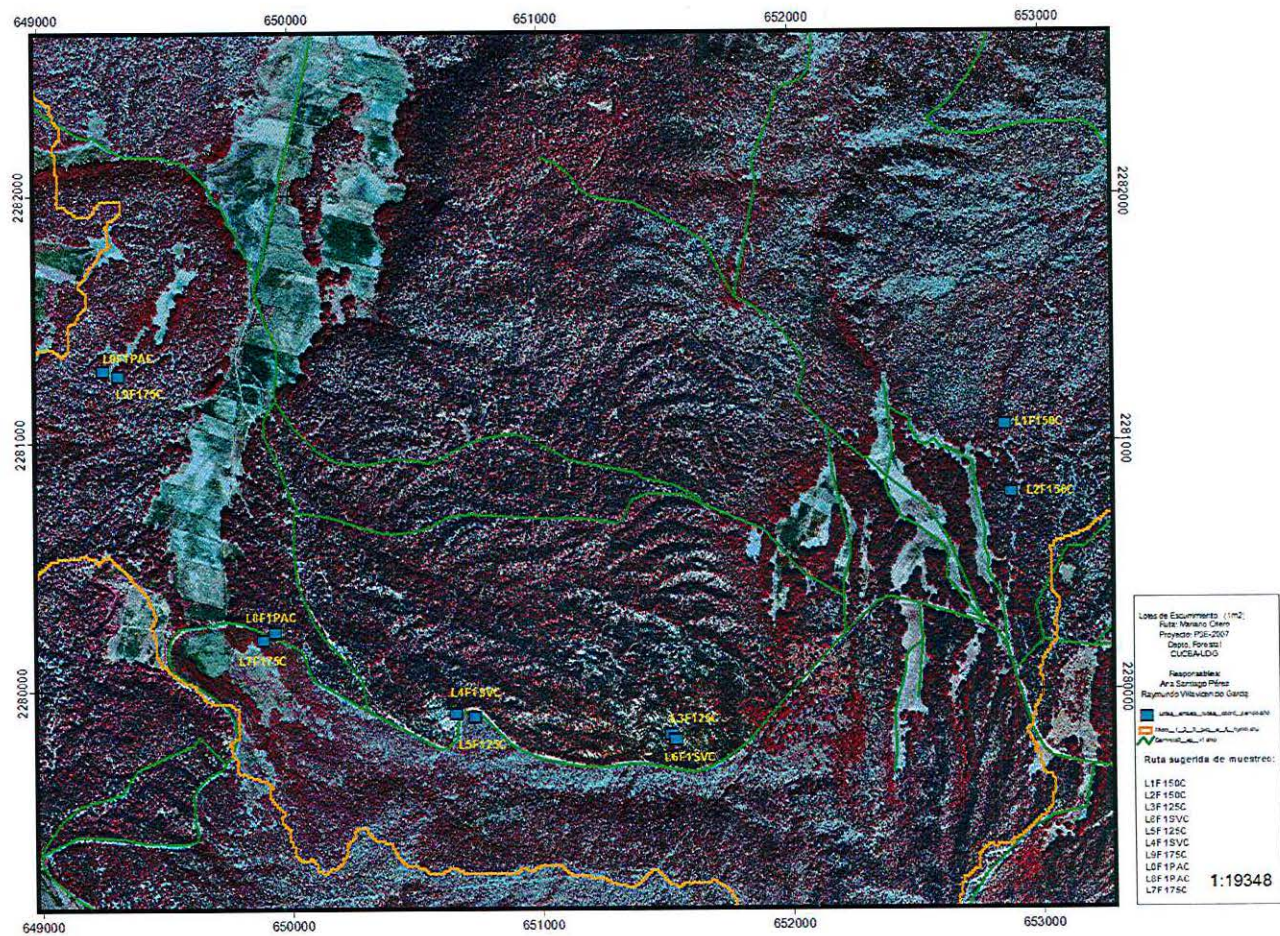


Figura 7a. Ubicación de los lotes de escurrimiento en las diferentes coberturas y usos de suelo en la parte alta de la microcuenca.

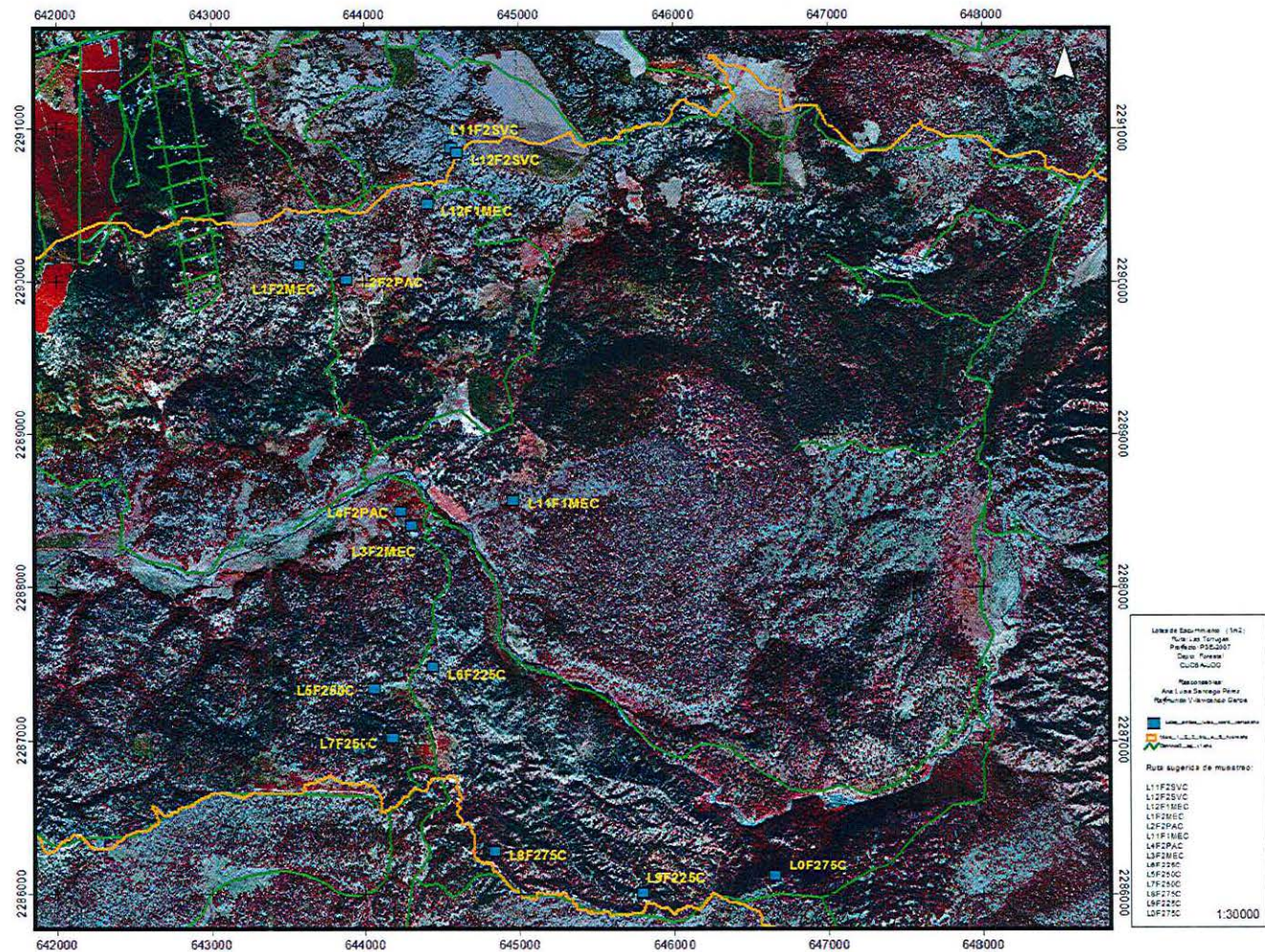


Figura 7b. Ubicación de los lotes de escurrimiento en las diferentes coberturas y usos de suelo en la parte baja de la microcuenca.



Figura 8. Medición de parámetros de precipitación y escurrimiento.

4.2.2. Escurrimiento superficial y producción de sedimento

A partir del volumen escurrido se colectó sedimento a través de papel filtro durante el mes de julio de 2007. Una vez que se obtuvieron las muestras de suelo (papel filtro y sedimento) de cada evento de lluvia, se secaron a una temperatura de 60-70°C en un horno Felisa® FE-242 hasta que tuvieran un peso constante. Las muestras secas se dejaron reposando 24 horas en una desecadora de vidrio. Finalmente, se restó el peso del papel filtro a las muestras secas. Se utilizó una báscula electrónica Precisa® 620C y se pesaron varios papeles filtro para promediar la tara. Con esto se obtuvo la producción de sedimento de cada lote de escurrimiento en gr m^{-2} .

Se reconstruyó la producción de sedimento anual a partir de datos históricos de precipitación de la estación meteorológica de Tala, Jalisco (Cuadro 4). El promedio de la pérdida de suelo mensual reconstruida se multiplicó por la superficie de la microcuenca para estimar la producción de sedimento total.

Cuadro 4. Precipitación media en milímetros para el período 1982-2000 de la estación meteorológica Tala, Jalisco (Ruiz-Corral et al., 2003).

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|------|------|-----|
| Precipitación (mm) | 28.1 | 5.1 | 3.1 | 6.4 | 18.8 | 154 | 242 | 189 | 143.4 | 63.4 | 12.9 | 11 |

Adicionalmente se calculó la producción de sedimento con la fórmula propuesta por Fournier (1960):

$$E = 2.65 \log p^2/P + 0.46 \log H \tan^{-1} \alpha - 1.56$$

donde, E , es igual al aforo de sedimentos suspendidos en $t \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, H , es el relieve medio de la cuenca o diferencia entre la altitud principal y la altitud media en metros, S , es el área de captación en km^2 y p^2/P , es el índice climático con p , la precipitación pluvial en el mes más húmedo en milímetros y P , la precipitación pluvial anual media en milímetros. Se tomó como referencia histórica la precipitación promedio del mes de julio y la precipitación promedio anual para el período 1982-2000 (Cuadro 4), de acuerdo a los registros de la estación meteorológica de Tala, Jalisco (Latitud $20^\circ 38'$, longitud $103^\circ 41'$, 1255 msnm) consignados por Ruiz-Corral et al. (2003).

4.2.3. Cálculo de infiltración directa

Se realizaron 12 pruebas con un infiltrómetro de doble cilindro (Torres, 1984; Maderey, 2005) en la temporada de estiaje de 2008, dos por cada una de las coberturas. Previo al inicio de cada prueba se retiró el mantillo y la vegetación hasta que apareciera el horizonte A . Se tomó la lectura de la lámina durante cada minuto los primeros cinco o seis minutos, para posteriormente rellenar simultáneamente ambos cilindros y hacer subsecuentes registros cada cinco minutos durante los siguientes treinta minutos (en cada una de estas pruebas se rellenaron ambos cilindros), esto mismo se repitió cada quince y veinte minutos durante las siguientes dos horas. Cada prueba de infiltración duró alrededor de dos horas y media.

Para el cálculo de la infiltración básica o constante se utilizó la planilla y las fórmulas propuestas por Torres (1984):

| | |
|------------------|--------------------------------|
| $LA=CT^a$ | $IM=60CT^a / T$ |
| $VI=dLA / dt$ | $IM=60CT^{a-1}$ |
| $VI=acT^{a-1}$ | $IM= K / a T^n$ |
| $VI=60acT^{a-1}$ | $IB=K [60 / 1-(10/9)^{1/n}]^n$ |
| $VI=KT^n$ | |

donde, LA , lámina acumulada en centímetros; C , coeficiente de infiltración por unidad de tiempo en centímetros; T , tiempo acumulado en minutos; a , pendiente de la gráfica o recta encontrada; VI , infiltración instantánea; $VI=acT^{a-1}$, infiltración instantánea en centímetros por minuto; $VI=60acT^{a-1}$, infiltración instantánea en centímetros por hora; $K=60ac$; constante de infiltración; $n=a-1$, exponente de tiempo; IM , infiltración media, IB , infiltración básica en centímetros por hora.

4.2.4. Relación de las variables dasométricas, físicas, ambientales y biológicas con los parámetros hidrológicos

Para identificar las posibles relaciones entre las variables hidrológicas de cada lote de escurrimiento con las variables, físicas, dasométricas y ambientales de las diferentes coberturas forestales y otros usos de suelo, se aplicó la técnica de ordenación de análisis de componentes principales con varianza-regresión y la distancia Sorensen como medida de similitud, disponible en el programa PC-ORD 4.14 (McCune y Mefford, 1999).

Se elaboró una matriz con datos de abundancia de las siete especies arbóreas presentes por tipo de densidad de cobertura forestal correspondientes a las unidades de muestreo donde se ubicaron los 24 lotes de escurrimiento, también se incluyeron: cinco variables dasométricas (abundancia, diámetro, altura, área basal y regeneración), ocho variables físicas (exposición, pendiente,

relieve, rocosidad, pedregosidad, tipo de erosión, porcentaje de erosión y producción de sedimento), dos variables ambientales (evidencia de incendio y presencia de pastoreo) y las variables hidrológicas: escurrimiento e infiltración.

4.2.5. Análisis de calidad de agua

Se obtuvieron cuatro muestras de agua de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana 127-SSA-1994 en el mes de julio de 2008. Se colectaron 4 muestras de agua en botellas de plástico de un litro y en frascos de vidrio de 400 ml, estos últimos previamente esterilizados, en cada muestra se registró la temperatura. Dos muestras correspondieron a la parte alta del Río Salado (a 0.9 km de donde nace el mismo), en la zona conocida como la Explanada (N 20°45'57.12"; W 103°34'36.66"), las otras dos muestras correspondieron al balneario Chorros de Tala (N 20° 41' 45.95; W 103° 40' 42.07") en los límites del APFFLP. Para el análisis cualitativo de las muestras se recurrió al Laboratorio de Agrología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, donde mediante la aplicación de diversos métodos: potenciómetro, conductímetro, EDTA, flamometría, colorimetría se determinaron los parámetros físicos: pH, conductividad eléctrica, número de cationes y aniones en mg l^{-1} .

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Precipitación, retención y escurrimiento

Se registraron 496 lecturas pluviométricas repartidas en 23 eventos de lluvia entre el tres de julio y el seis de octubre de 2007. La lámina promedio de lluvia fue de 17.56 ± 13.46 mm. Los registros de precipitación, retención y escurrimiento recabados durante el periodo se muestran en el Cuadro 5.

La precipitación pluvial (P) máxima registrada entre todos los tipos de cobertura ocurrió en *pastizal* con 461.93 mm (370.06 ± 62.57 mm), mientras que el valor más bajo fue en las áreas sin vegetación con 265.18 mm (340.29 ± 59.67 mm); en tanto que en las coberturas forestales se registraron volúmenes mínimos de 309.7 mm y máximos de 453.4 mm, con un promedio total de 365.9 ± 41.9 mm.

El valor de retención (R) máximo se dio nuevamente en *pastizal* con 442.19 mm (339.98 ± 71.2 mm) y el mínimo en las áreas *sin vegetación* con 202.64 mm (265.27 ± 65.4 mm). El volumen de escurrimiento máximo se registró en *sin vegetación* con 110.46 mm (30.07 ± 20.17 mm) y el mínimo en *bosque >75%* con 12.93 mm (18.81 ± 7.78 mm) (Figura 8). El porcentaje más alto de agua retenida (relación R/P) se dio en *bosque >75%* con 96.79% ($94.94 \pm 2.24\%$), mientras que el más bajo en *sin vegetación* con 70.3% ($77.51 \pm 7.95\%$) (Cuadro 5).

En cuanto a la retención de agua no hubo diferencias significativas entre todos los tipos de cobertura (Cuadro 6). En todas las condiciones de cobertura se presentó más del 87% de relación entre la retención y la precipitación registrada, siendo el porcentaje más bajo en *pastizal* y el más alto en *bosque >75%* (Figura 9).

Cuadro 5. Resumen de los parámetros hidrológicos (precipitación, retención y escurrimiento) por tipo de cobertura en la duración de todo el experimento.

| Tipo de cobertura | Lote | Pendiente (%) | Precipitación (P) mm | Retención (R) mm | Escurrecimiento (P-R) mm | R/P (%) |
|-------------------|---------|---------------|----------------------|------------------|--------------------------|---------|
| Pastizal | L0F1PA | 7 | 352.44 | 333.40 | 19.03 | 94.59 |
| | L8F1PA | 8 | 461.93 | 442.19 | 19.74 | 95.72 |
| | L4F2PA | 7 | 321.98 | 300.77 | 21.21 | 93.41 |
| | L2F2PA | 14 | 343.88 | 283.57 | 60.31 | 82.46 |
| Sin vegetación | L11F2SV | 25 | 322.67 | 240.25 | 82.42 | 74.45 |
| | L12F2SV | 40 | 265.18 | 202.94 | 62.24 | 76.52 |
| | L4F1SV | 20 | 401.37 | 356.41 | 44.96 | 88.79 |
| | L6F1SV | 27 | 371.94 | 261.48 | 110.46 | 70.30 |
| Bosque <25% | L12F1ME | 5 | 331.91 | 299.61 | 32.30 | 90.26 |
| | L1F2ME | 30 | 322.33 | 293.95 | 28.38 | 91.19 |
| | L11F1ME | 18 | 342.17 | 279.42 | 62.75 | 81.66 |
| | L3F2ME | 12 | 334.64 | 305.13 | 29.51 | 91.18 |
| Bosque 25-50% | L6F225 | 37 | 329.17 | 274.48 | 54.69 | 83.38 |
| | L3F125 | 45 | 421.90 | 401.33 | 20.57 | 95.12 |
| | L9F225 | 3 | 372.97 | 350.30 | 22.67 | 93.92 |
| | L5F125 | 15 | 386.31 | 363.90 | 22.41 | 94.19 |
| Bosque 50-75% | L5F250 | 7 | 310.35 | 263.53 | 46.82 | 84.91 |
| | L7F250 | 16 | 390.42 | 321.25 | 69.17 | 82.28 |
| | L1F150 | 30 | 378.10 | 361.60 | 16.50 | 95.63 |
| | L2F150 | 40 | 406.16 | 388.24 | 17.92 | 95.58 |
| Bosque >75% | L0F275 | 24 | 309.67 | 292.00 | 17.67 | 94.29 |
| | L8F275 | 44 | 379.13 | 349.02 | 30.11 | 92.05 |
| | L9F175 | 5 | 385.97 | 373.04 | 12.93 | 96.64 |
| | L7F175 | 40 | 453.38 | 438.84 | 14.54 | 96.79 |

Los volúmenes de escurrimiento de los lotes fueron diferentes entre todas las coberturas ($p < 0.0001$), así como dentro de algunos tratamientos como: *pastizal* y *bosque 25-50%* ($p = 0.0024$ y $p = 0.049$, respectivamente), esto debido a las condiciones de sitio y a la morfología (Cuadro 7). La comparación del escurrimiento entre *pastizal* y *sin vegetación* también presentó diferencias altas ($p < 0.0001$). El escurrimiento medio anual de la MRS se determinó en

36.26 Mm³, con un coeficiente de escurrimiento ponderado de 0.298 y una precipitación media de 980 mm.

Cuadro 6. Análisis de varianza de la retención de agua de todos los tipos de cobertura para el mes de julio, agosto y septiembre de 2007.

| Tipo de cobertura | Retención (mm) | F | Probabilidad | Valor crítico de |
|------------------------------|-------------------|--------|--------------|------------------|
| | | | | F |
| Sin vegetación | 265.27 ± 65.40 | 1.3021 | 0.2791 | 2.7132 |
| Pastizal | 339.98 ± 71.20 | 0.7664 | 0.516 | 2.7132 |
| Bosque <25% | 294.53 ± 11.05 | 0.1016 | 0.9588 | 2.7119 |
| Bosque 25-50% | 347.50 ± 53.24 | 0.7078 | 0.5498 | 2.7094 |
| Bosque 50-75% | 333.65 ± 54.25 | 2.3502 | 0.078 | 2.7106 |
| Bosque >75% | 363.22 ± 60.79 | 0.7424 | 0.5296 | 2.7094 |
| Todos los tipos de bosque | 334.72 ± 29.39 | 0.6614 | 0.5762 | 2.6298 |
| Todas las coberturas | 324.02 ± 36.76 | 1.1977 | 0.3089 | 2.2309 |

ANOVA, $\alpha=0.05$, n=4 en cada tipo de cobertura, n=16 en todos los tipos de bosque y n=24 en todas las coberturas.

Cuadro 7. Análisis de varianza del escurrimiento de agua de todos los tipos de cobertura para el mes de julio, agosto y septiembre de 2007. Tipos de cobertura n=4, todos los tipos de bosque n=16 y todas las coberturas n=24.

| Tipo de cobertura | Escurrimiento (mm) | F | Probabilidad | Valor crítico de |
|------------------------------|-----------------------|--------|---------------------------|------------------|
| | | | | F |
| Sin vegetación | 75.02 ± 28.15 | 1.9357 | 0.13 | 2.7132 |
| Pastizal | 30.07 ± 20.17 | 5.1798 | 0.0024* | 2.7132 |
| Bosque <25% | 38.23 ± 16.42 | 1.1069 | 0.3509 | 2.7119 |
| Bosque 25-50% | 30.08 ± 16.42 | 2.7252 | 0.049* | 2.7094 |
| Bosque 50-75% | 37.6 ± 25.25 | 2.5976 | 0.0574 | 2.71 |
| Bosque >75% | 18.81 ± 7.78 | 2.5999 | 0.0572 | 2.7094 |
| Todos los tipos de bosque | 31.18 ± 17.69 | 2.3107 | 0.0759 | 2.6298 |
| Todas las coberturas | 38.3 ± 25.34 | 8.5387 | 8.6204x10 ^{-8**} | 2.2309 |

ANOVA, $\alpha=0.05$, n=4 en cada tipo de cobertura, n=16 en todos los tipos de bosque y n=24 en todas las coberturas. *p<0.05, **p<0.01 (valores significativos).

Las observaciones registradas concuerdan con lo reportado por Alanís et al. (2000), estos autores encontraron en rodales dominados por *Pinus arizonica*

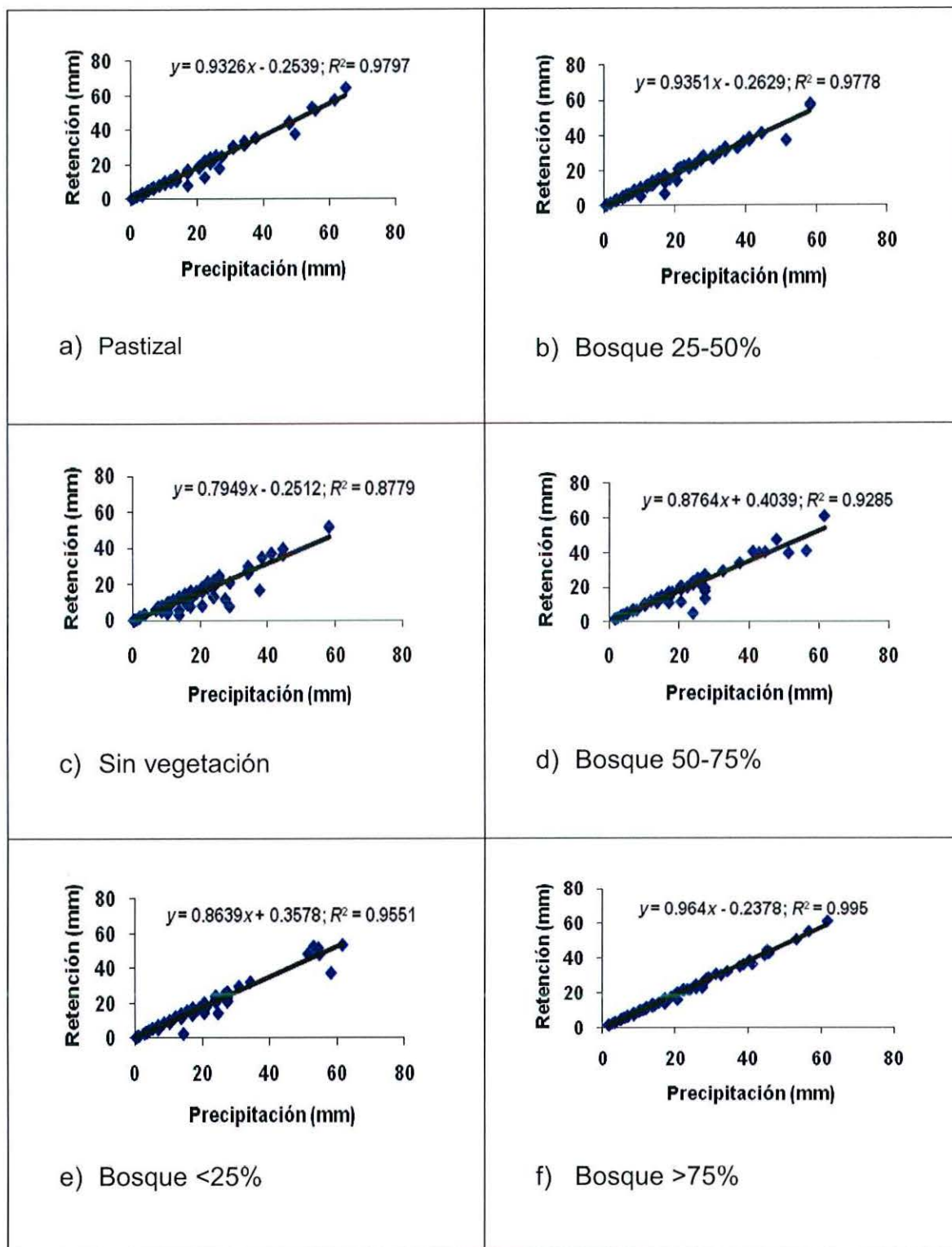


Figura 9. Relaciones estadísticas entre precipitación y retención. R^2 , coeficiente de determinación.

que los valores de escurrimiento en sitios donde se eliminó la vegetación mediante quemas controladas aplicadas durante dos años consecutivos, que el escurrimiento se incrementó de 4.9 mm a 40.2 mm y hasta 70 mm. Ruiz et al. (2005), registraron que en masas densas de *Quercus humboldtii* de $17.6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, *Pinus patula* de $41.73 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y *Cupressus lusitanica* de $36.58 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal escurrió el 1.07, 1.61 y 11.05% de la precipitación, respectivamente. Viramontes et al. (2007), registraron que la infiltración proveniente de una lluvia natural en bosques con mantillo puede llegar hasta el 100%, un 40% en coberturas sin vegetación y un 20% o menos en superficies encostradas.

Otros estudios en el Bosque La Primavera que utilizaron diferentes metodologías y escalas espaciales, indican que la MRS tiene una capacidad estimada de 121.3 Mm^{-3} de captación neta de precipitación pluviométrica, según el análisis morfométrico elaborado por Villavicencio et al. (2007); mientras que de acuerdo con Pérez y Curiel (1990), "La Primavera" y su área de influencia pueden concentrar escurrimientos laminares de entre 100 y 200 mm año⁻¹, así como llegar a captar un promedio anual de $240 \text{ Mm}^{-3} \text{ año}^{-1}$ de lluvia (Apéndice 8.2)

Por referencias en la literatura se consigna que los bosques maduros son capaces de interceptar el total de la precipitación (Viramontes et al., 2007a); se estima que los bosques y las selvas de Jalisco pueden captar entre 255 y 1,115 m³ de agua por hectárea por año respectivamente (Torres y Guevara, 2002). Por otra parte, Torres y Guevara (2002), estimaron en $40,028.84 \text{ Mm}^{-3} \text{ año}^{-1}$ la captura de agua proveniente de las áreas arboladas en México.

Las altas tasas de retención o recarga (Linsley et al., 1988) y las bajas tasas de escurrimiento en masas forestales densas han sido ampliamente reportadas en diversos trabajos (Alanís et al., 2000; Ruiz et al., 2005; Viramontes et al., 2007, 2007a; Arias et al., 2008). En este trabajo los pastizales jugaron un papel importante en la retención como al igual lo describen otros estudios como los de Evans (1991), Galarza (2002) y Maderey (2005).

En los últimos años se ha debatido el papel de los bosques en la producción de agua (Calder, 2000; Porras, 2003; Brüscheweiler, et al. 2004;

Calder et al., 2007; Calder, 2007; Donovan, 2007; FAO, 2007; Malagnoux et al., 2007; Stolton y Dudley, 2007; Van Dijk y Keenan, 2007). Los árboles requieren una parte del agua precipitada para su subsistencia, el desarrollo de la copa implica que el agua sea interceptada y que se evapore nuevamente antes de llegar al suelo, de modo que la poca agua que logre llegar a este último se verá nuevamente obstaculizada por la hojarasca y el sotobosque, dejando una parte mínima disponible aguas abajo y según Calder (2000), hasta para la recarga de los mantos acuíferos. Los bosques, en su mayoría, no hacen aumentar el flujo de agua ni necesariamente contienen las inundaciones, no obstante suministran agua relativamente pura, esto último a menudo no es tomado en cuenta (Calder, 2007; Stolton y Dudley, 2007).

El bosque tiene un efecto positivo al aumentar la infiltración y la retención del suelo, especialmente por medio del sotobosque y la capa orgánica existente, también un efecto negativo producto de la evapotranspiración (Porras, 2003).

5.2. Escurrimiento superficial y producción de sedimento

Se colectaron 77 muestras de suelo a partir del escurrimiento, repartidos en cuatro eventos de lluvia del tres al catorce de julio de 2007. El peso promedio de las muestras fue de 5.08 ± 7.74 g, así mismo, las lecturas de escurrimiento tuvieron 2.14 ± 3.09 mm.

La erosión acumulada promedio para todos los lotes fue de 16.51 gr m^{-2} (6.88 mm de escurrimiento) (Cuadro 8), siendo mayor la pérdida de suelo en las áreas sin vegetación, seguida de bosques de 50-75% y bosques de 25-50%, donde en las coberturas de bosque mayor a 75% de densidad se redujo 6.15×10^{10} %, en comparación con las coberturas sin vegetación. La pérdida de suelo a partir del escurrimiento reflejó diferencias significativas entre *todas las coberturas y todos los tipos de bosque* (Cuadro 8). La comparación del escurrimiento entre *pastizal y sin vegetación* también presentó diferencias ($p=0.0079$).

Cuadro 8. Análisis de varianza de la pérdida de suelo a partir del escurrimiento superficial de todos los tipos de cobertura durante el mes de julio de 2008.

| Tipo de cobertura | Pérdida de suelo (gr m ⁻²) | F | Probabilidad | Valor crítico de F |
|----------------------------|--|--------|--------------|--------------------|
| Sin vegetación | 42.72 ± 33.7 | 2.8313 | 0.0832 | 3.4902 |
| Pastizal | 7.33 ± 2.45 | 0.9213 | 0.4624 | 3.5874 |
| Bosque <25% | 8.02 ± 2.50 | 0.3348 | 0.8005 | 3.5874 |
| Bosque 25-50% | 16.10 ± 7.66 | 0.8564 | 0.4898 | 3.4902 |
| Bosque 50-75% | 17.98 ± 19.08 | 1.201 | 0.3546 | 3.5874 |
| Bosque >75% | 6.94 ± 4.26 | 8.159 | 0.0038* | 3.5874 |
| Todos los tipos de bosques | 12.26 ± 5.58 | 1.0077 | 0.3959 | 2.7635 |
| Todas las coberturas | 16.51 ± 13.69 | 3.8389 | 0.0034* | 2.3205 |

ANOVA, $\alpha=0.05$, $n=4$ en cada tipo de cobertura, $n=16$ en todos los tipos de bosque y $n=24$ en todas las coberturas. * $p<0.05$ (valores significativos).

A partir de los datos obtenidos de pérdida de suelo promedio en todos los lotes durante el mes de julio y con base en los datos históricos de precipitación y superficie se estimó la producción total de sedimento en 618.37 t año⁻¹ para el área de estudio (Cuadro 9); al aplicar el modelo de Fournier (1960) con los datos promedio de altitud y pendiente promedio, precipitación pluvial media anual y del mes más húmedo de la MRS, se calcularon pérdidas de 442.27 t año⁻¹. La diferencia se puede relacionar con la representación de las unidades de muestreo y la extrapolación de la superficie considerada.

En este trabajo se encontró que el escurrimiento superficial de los lotes de un metro cuadrado con suelo desnudo produjeron 6.15 veces ($6.15 \times 10^{10} \%$) más sedimento que los de bosque mayor a 75% de densidad. Los pastizales lograron reducir casi seis veces la erosión en comparación a los lotes sin vegetación, tal y como lo reportan Mendoza et al. (2003) en un trabajo agrícola.

La producción de sedimento a partir del agua escurrida estimada en este trabajo indicó que las coberturas forestales altamente densas, produjeron 6.94 kg ha⁻¹ mes⁻¹, mientras que las coberturas sin vegetación 42.72 kg ha⁻¹ mes⁻¹. En contraste, Pérez y Curiel (1990), midieron la erosión en coberturas de pino del bosque La Primavera a partir del escurrimiento en un ensayo de cuatro años, encontrando que en un sitio provisto de dosel y hojarasca la erosión se

Cuadro 9. Producción calculada de sedimento en base a la precipitación para la microcuenca del río Salado.

| Mes | Producción de sedimento (t km ⁻²) | Precipitación (mm)* |
|------------|---|---------------------|
| Enero | 1.917 | 28.1 |
| Febrero | 0.3474 | 5.1 |
| Marzo | 0.2148 | 3.1 |
| Abril | 0.4366 | 6.4 |
| Mayo | 1.2825 | 18.8 |
| Junio | 10.5331 | 154.4 |
| Julio | 16.5351 [‡] | 242.3 |
| Agosto | 12.91 | 189.3 |
| Septiembre | 9.7827 | 143.4 |
| Octubre | 4.323 | 63.4 |
| Noviembre | 0.88 | 12.9 |
| Diciembre | 0.777 | 11.4 |
| Promedio | 4.9949 | |

*Datos de la estación meteorológica de Tala (Ruíz-Corral et al., 2003).

[‡]Producción de sedimento registrada en campo (julio).

redujo en un 98%, produciéndose 440 kg ha⁻¹ de sedimento, en comparación con superficies desnudas donde reportan 21.3 t ha⁻¹ (Apéndice 8.2.). Bachmann et al. (2009), estimaron mediante cartografía temática y herramientas de sistemas de información geográfica que en la MRS podrían ocurrir pérdidas potenciales de suelo menores de 10 t ha año⁻¹ en 84.1% del área de estudio y de hasta 50 t ha año⁻¹ en al menos 8.8% de la misma (Apéndice 8.2), ambas cifras rebasan por mucho la tasa de formación de suelo y las pérdidas permisibles (Anaya et al., 1977).

Los valores de pérdida de suelo obtenidos en este trabajo son del mismo orden que los valores presentados por Ibarra et al. (1996), que con experimentos cercanos a un año de mediciones a partir del escurrimiento, estimaron la pérdida de suelo en 109.8 kg ha⁻¹ en ecosistemas forestales chilenos dominados por *Araucaria auracana*; en contraste en experimentos de cinco meses en un cultivo de trigo se estima un pérdida de 2,760.45 kg ha⁻¹. Por otra parte, Fournier (1960) valoró la pérdida de suelo para el occidente de México en 1000 a 2000 t km⁻² año⁻¹ a partir del calculo de la producción de sedimento con base a la precipitación. Las referencias de los diferentes

estudios consultados permiten inferir que los bosques maduros ayudan a regular la erosión del suelo y reducir la carga de sedimentos, lo cual contribuye a la disponibilidad de agua de buena calidad y minimiza la necesidad de tratar el agua, de acuerdo a lo referido por Stolton y Dudley (2007) en otras regiones del mundo.

5.3. Cálculo de infiltración directa

Las pruebas de infiltración simulada indicaron una tasa constante de 23 ± 8.3 cm hr^{-1} . El valor más alto de infiltración básica se presentó en suelos Regosoles eútricos con jales gruesos y fases pedregosas (cenizas volcánicas gruesas y pumicitas), con 45.38, 36.4, 26.47, 26.66 cm hr^{-1} ; los valores más bajos se presentaron en suelos Regosoles de textura gruesa con 9.88, 11.16, 13.82 y 17.7 cm hr^{-1} bajo condiciones de sitio mecánicamente desfavorables como compactación por pastoreo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Infiltración básica por unidad de suelo y cobertura vegetal.

| Cobertura | Sitio | Tipo de suelo (FAO) | IB* (cm hr^{-1}) | Relieve | Observaciones |
|----------------|----------|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|
| Bosque >75% | L9F175 | Re/1 | 19.28 | Ondulado | Fase pedregosa |
| Bosque 50-75% | L9F175i | Re/1 | 26.66 | Ondulado | Fase pedregosa |
| | L1F150 | Re/1 | 36.4 | Escarpado | Jal grueso, fase pedregosa |
| | L2F150 | Re/1 | 19.55 | Muy ondulado | Jal medio |
| Bosque 25-50% | L5F125 | Re/1 | 26.47 | Ligeramente ondulado | Fase pedregosa |
| | L3F125 | Re/1 | 45.38 | Escarpado | Jal grueso |
| Bosque <25% | L11F1MEi | Re/1+Hh/1 | 13.82 | Mesetiforme y ondulado | Pastoreo, compactación |
| | L11F1ME | Re/1+Hh/1 | 9.88 | Mesetiforme y ondulado | Pastoreo, compactación |
| Pastizal | L4F2PAi | Hh+Re/1 | 23.71 | Ligeramente ondulado | Unidad Feozem |
| | L4F2PA | Hh+Re/1 | 11.16 | Ligeramente ondulado | Compactación |
| Sin vegetación | L4F1SV | Re/1 | 26.13 | Ligeramente ondulado | Erosión hídrica laminar ligera |
| | L6F1SV | Re/1 | 17.7 | Escarpado | Compactación, tala clandestina |

*Infiltración básica

Las pruebas de infiltración se distribuyeron en función de la cobertura vegetal, de tal forma que al confrontar con las unidades de suelos, se realizaron sobre Regosoles y en menor medida sobre Feozem, ambos de textura gruesa o arenosa; en una porción de los Regosoles se presentó una fase pedregosa.

Por tipo de cobertura la mayor infiltración se presentó en las coberturas forestales de 25-50%, seguida por 50-75% y >75% con 35.93, 27.97 y 22.97 cm hr⁻¹, respectivamente. La cobertura *Bosque* <25% fue el área con menor capacidad de infiltración con 11.85 cm hr⁻¹, seguido de *Pastizal* y *Área sin vegetación* con 17.43 y 21.91 cm hr⁻¹, respectivamente (Figura 10).

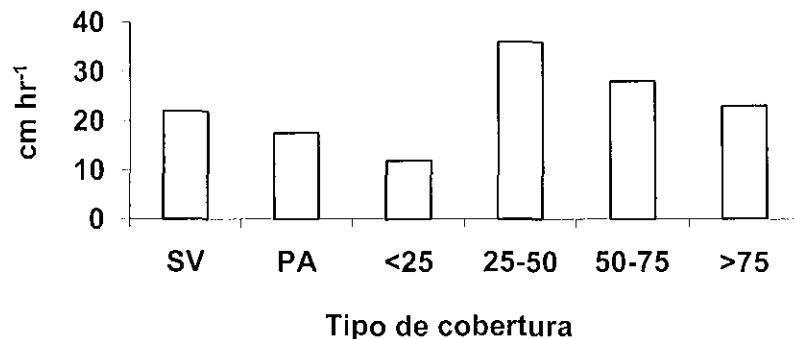


Figura 10. Infiltración promedio básica o constante en cada una de las coberturas de la microcuenca del Río Salado. SV=sin vegetación; PA=pastizal; <25, 25-50, 50-75 y >75, porcentaje de cobertura forestal.

La tendencia de la infiltración instantánea a través del tiempo registró un tope máximo de 40-60 cm en los primeros cinco minutos en todas las pruebas (Figura 10). Las pruebas realizadas en la cobertura *Bosque* 25-50% registraron la infiltración más alta a lo largo del tiempo con 37.42 cm hr⁻¹, las pruebas realizadas en *Bosque* <25% obtuvieron el valor más bajo de infiltración con 11.85 cm hr⁻¹ (Figura 10).

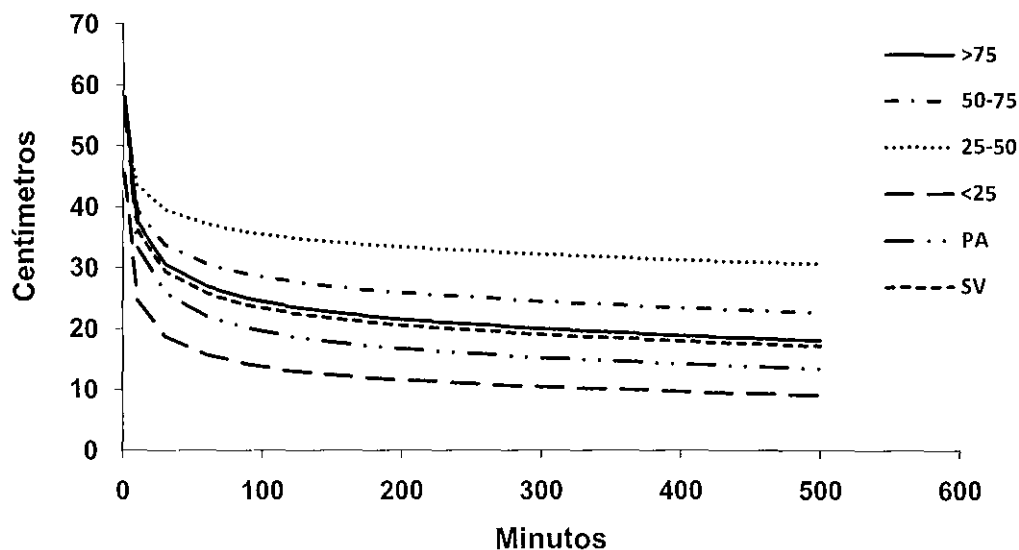


Figura 10. Infiltración instantánea en cada una de las coberturas de la microcuenca del Río Salado. Porcentaje de cobertura forestal: <25, 25-50, 50-75 y >75; otros usos de suelo: SV=sin vegetación; PA=pastizal.

La MRS se caracteriza por la dominancia de suelos del tipo Regosol eútrico en un 82.2% de la superficie total y con menor área, 10.6%, el Feozem háplico (Villavicencio et al., 2007). La textura que caracteriza a toda la cuenca es la gruesa o arenosa. De manera general, todos los tipos de cobertura tuvieron un grado de permeabilidad muy alto, de acuerdo a los intervalos señalados por Torres (1984).

En la misma MRS mediante metodología indirecta de SIG elaborada por Villavicencio et al. (2007), obtuvieron valores que oscilaron entre 2.01 y 16.3 cm año⁻¹, lo cual evidentemente contrasta con lo obtenido por este trabajo debido a la escala espacial de estudio; en las microcuencas el Caracol y el Huilustre en la misma APFFLP se determinaron láminas de infiltración de 13.17 cm hr⁻¹ en bosque de encino-pino mediante parcelas de lluvia simulada (CFE, 2002).

Los valores de infiltración básica obtenidos en este trabajo son del mismo orden que los presentados por Franco e Insfran (2010), estos autores reportaron para suelos predominantemente arenosos valores de 34.14, 25.86 cm hr⁻¹, aunque con un coeficiente de variación del 235.5 %. Sustaita-Rivera et al. (2000), obtuvieron intervalos de infiltración básica de 25 y 2 cm hr⁻¹, para suelos Fluvisoles eútricos con vegetación natural de *Opuntia* spp. y manejo

agrícola mecanizado, respectivamente. Ruiz et al. (2005), encontraron una infiltración básica con rangos que van de 0.97 a 3.87 cm hr⁻¹ para suelos durustoles de textura limosa fina, bajo condiciones de labranza cero y convencional en bosques montanos y plantados de Colombia.

Las pruebas realizadas en la cobertura bosque 25-50% registraron la infiltración más alta a lo largo del tiempo con 37.42 cm hr⁻¹, esto debido a las fases gruesas y pedregosas de los sitios; las pruebas realizadas en bosque <25% obtuvieron el valor más bajo de infiltración con 11.85 cm hr⁻¹, a causa de la compactación proveniente del pastoreo. El amplio rango de infiltración básica o constante e instantánea puede deberse a múltiples factores como la variación espacial en precipitación, el tipo y uso del suelo en cada prueba, la pendiente del terreno, la temperatura, el escape del aire del suelo, la acción bacteriana y cambios en la estructura del suelo (Linsley et al., 1988; Nave et al., 1994; Sustaita et al., 2000; Villavicencio et al., 2007; Franco e Insfran, 2010). La superioridad de los suelos forestales en la infiltración se debe al uso inexistente o poco intensivo, a la cubierta de material orgánico, a la ausencia del golpeteo directo de las gotas de lluvia y a los canales que forman las raíces de los árboles (Stadtmüller, 1994).

5.4. Relación de las variables dasométricas, físicas, ambientales y biológicas con los parámetros hidrológicos

La matriz de abundancia de las especies y su relación con los parámetros dasométricos, ambientales e hidrológicos extrajo en los tres primeros ejes un 99.4% de la varianza acumulada de los datos de la cobertura forestal y las variables dasométricas e hidrológicas. El primer eje extrajo 71.4%, el segundo 24.0% y el tercero 4.1%. En el Cuadro 11 se presentan los coeficientes de correlación lineal calculados para cada una de las variables.

El primer eje presentó las mayores correlaciones con los parámetros del arbolado: abundancia y área basal, así como con las variables: presencia de pastoreo, evidencia de incendio, infiltración y escurrimiento; mientras que las

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas, ambientales e hidrológicas, especies arbóreas y los ejes de la ordenación del análisis de componentes principales.

| Variable | Eje 1 | Eje 2 | Eje 3 |
|---|--------|--------|--------|
| Abundancia (N) | -0.931 | -0.207 | 0.136 |
| Diámetro | 0.217 | 0.100 | -0.095 |
| Altura | -0.219 | 0.035 | 0.076 |
| Área basal (dg) | -0.886 | -0.053 | 0.132 |
| Regeneración | 0.137 | 0.290 | -0.109 |
| Exposición | 0.245 | -0.033 | -0.360 |
| Relieve | -0.183 | -0.034 | 0.332 |
| Rocosidad | -0.082 | 0.234 | -0.206 |
| Pedregosidad | 0.143 | 0.308 | 0.017 |
| Erosión (%) | 0.142 | -0.217 | -0.376 |
| Erosión (tipo) | 0.216 | -0.019 | -0.365 |
| Incendio | -0.343 | -0.044 | 0.374 |
| Pastoreo | -0.439 | 0.125 | 0.128 |
| Pendiente (%) | -0.168 | 0.060 | 0.225 |
| Escurrimiento (mm)* | 0.332 | -0.039 | 0.059 |
| Infiltración (cm hr ⁻¹) | -0.340 | 0.177 | 0.154 |
| Producción de sedimento (kg ha ⁻¹)* | 0.103 | -0.017 | -0.184 |
| <i>Pinus oocarpa</i> | -0.548 | 0.258 | 0.794 |
| <i>Quercus resinosa</i> | -0.986 | 0.159 | -0.046 |
| <i>Quercus viminea</i> | -0.453 | -0.891 | 0.028 |
| <i>Quercus coccolobifolia</i> | -0.398 | -0.257 | 0.099 |
| <i>Clethra rosei</i> | -0.076 | 0.057 | 0.363 |
| <i>Acacia pennatula</i> | -0.159 | 0.286 | -0.201 |
| <i>Comarostaphylis glaucescens</i> | -0.066 | 0.172 | -0.611 |

*Variables hidrológicas obtenidas de 24 lotes de escurrimiento

especies asociadas, en orden de importancia fueron: *Quercus resinosa*, *Pinus oocarpa*, *Quercus viminea* y *Quercus coccolobifolia* (Cuadro 11 y Figura 11).

El segundo eje se correlacionó con la variable pedregosidad y la especie asociada fue *Quercus viminea*. El tercer eje se asoció con *Comarostaphylis glaucescens* y *Clethra rosei*, en tanto las variables relacionadas fueron el porcentaje de erosión, el tipo de erosión y la exposición (Cuadro 11 y Figura 11).

De acuerdo con el diagrama de ordenación de la Figura 11 se observaron dos condiciones contrastantes en función de la densidad de

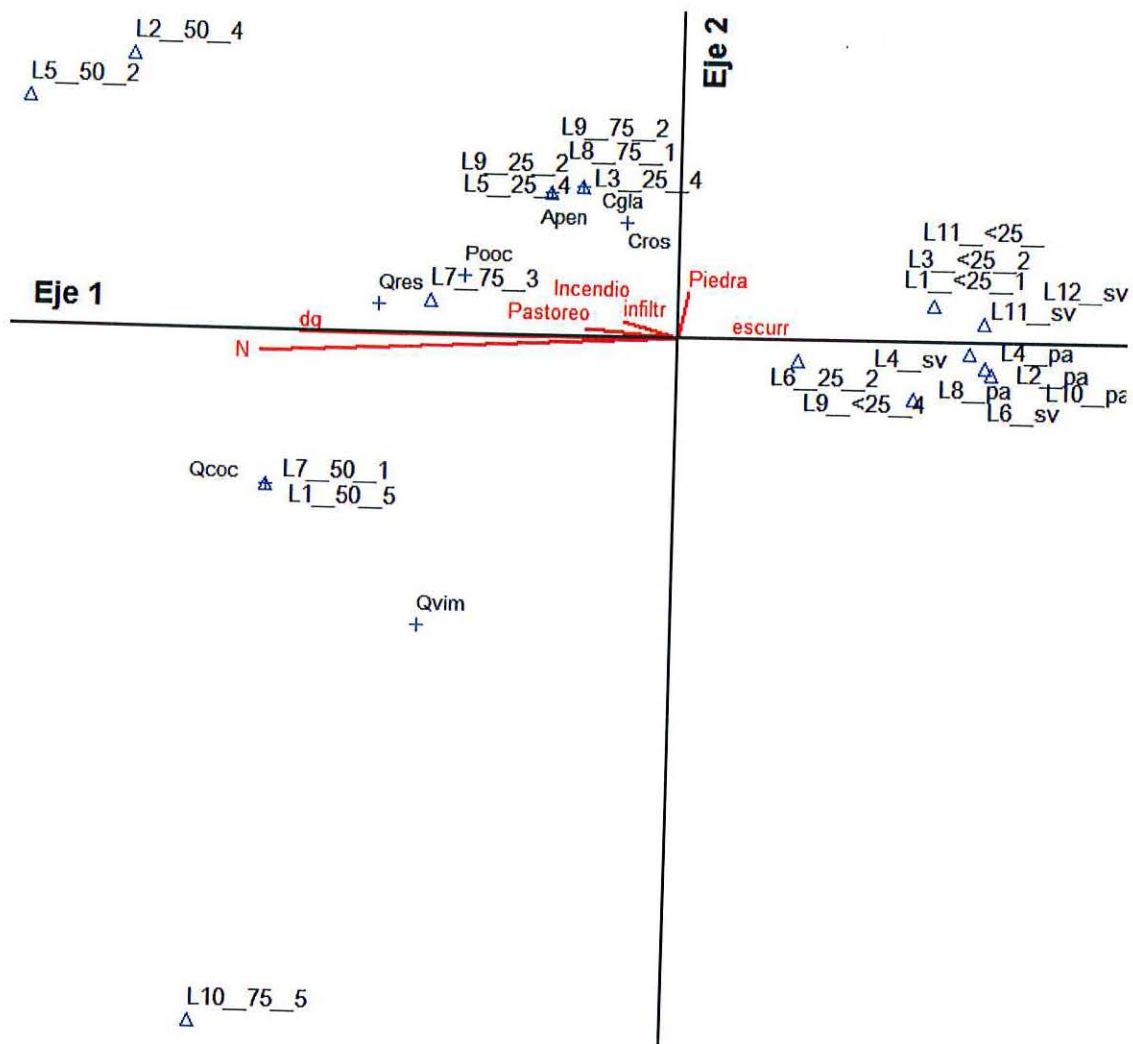


Figura 11. Ordenación del análisis de componentes principales de 24 lotes de escurrimiento derivado de la correlación de variables dasométricas, hidrológicas, biológicas y físicas.

cobertura forestal y otros usos de suelo. En la porción izquierda a partir del centro de los ejes se agruparon los lotes ubicados al interior de densidades de coberturas forestales de muy alta, alta e intermedia (>75, 50-75 y 25-50%, respectivamente). En la porción derecha un grupo más compacto lo componen los lotes ubicados en áreas con bosques abiertos o baja cobertura forestal (<25%), pastizales y áreas sin vegetación, los cuales en condiciones de pastizal

y áreas sin vegetación presentaron los mínimos y máximos registros de escurrimiento superficial.

Cabe destacar que los lotes en cobertura de 50-75% de densidad y el lote 10 con cobertura >75% se separan del resto de las coberturas forestales debido a la dominancia de *Quercus viminea* (excepto en lote 2_50_4 que está ausente). La presencia de pastoreo está ausente o es ligera en las coberturas de 25-50%.

El análisis multivariado mostró un patrón en que la dispersión de los lotes de escurrimiento tuvo relación con la densidad de la cobertura forestal y otros usos del suelo y por tanto con el 71% de la varianza explicada parece relacionarse a una distribución de los sitios de mayor a menor densidad de cobertura forestal (de muy alta, alta e intermedia), así como la proximidad de estos por su semejanza en área basal. Ruiz et al. (2005), reportaron un comportamiento similar para bosques naturales y plantados de la región templada de Colombia.

Factores de disturbio como las evidencias de incendio se presentaron principalmente en coberturas forestales altas e intermedias, mientras que la presencia de pastoreo fue de moderada a intensiva en los bosques >75% y 50-75%, respectivamente. El registro de los mayores valores de retención se presentaron en los bosques de 25-50%, 50-75%, >75% respectivamente. En contraste el escurrimiento superficial se correlacionó con las áreas abiertas de bosque, pastizales y áreas sin vegetación. Las especies *Quercus resinosa* y *Pinus oocarpa* son las dominantes en el área de estudio (Santiago y Villavicencio, 2007; Ortega et al., 2008), por tanto presentaron fuertes correlaciones con las variables abundancia y área basal, mientras que las especies *Quercus coccolobifolia* y *Q. viminea* se distribuyen de forma restringida en manchones o pequeños rodales y se presentan en zonas con mayor humedad en laderas cóncavas, cañadas o cercanas a arroyos temporales o permanentes, mientras que *Comarostaphylis glaucescens* solo está presente en el estrato de altura bajo de bosques >75% de cobertura de

dosel. *Acacia pennatula* y *Clethra rosei* pueden consideradas como indicadoras de perturbación ya que se presentaron en áreas abiertas asociadas a sitios con presencia de pastoreo en la primera y a sitios con rastros de incendio en la segunda.

5.5. Análisis de calidad de agua

En el Cuadro 12 se muestran los valores obtenidos de los parámetros químicos y microbiológicos. Se observó una temperatura al momento de tomar las muestras de 35.37 ± 7.82 °C. La mayor conductividad eléctrica y la mayor concentración de cationes totales se registró en la parte alta del Río Salado con $1,340 \mu\text{s cm}^{-1}$ y 13.4 ppm, respectivamente. Así mismo, las concentraciones más altas de boro, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos se registraron también en la parte alta de la MRS (Cuadro 12).

Algunos compuestos como cloruros y sulfatos sobrepasaron en más del doble las concentraciones permitidas para el consumo humano, así mismo, el pH rebasó el límite permisible en todas las pruebas según la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994). En cuanto a la calidad del agua con fines de riego se determinó un riesgo de salinidad y sodicidad alto (C_3-S_3), muy alto (C_4-S_4) y medio (C_2-S_2), en las tres primeras pruebas, esto es la zona 1 y 2 de La Explanada y la zona 3 del balneario Chorros de Tala, la cuarta prueba (también en el balneario Chorros de Tala) presentó mediana peligrosidad por salinidad y baja peligrosidad por sodicidad (C_2-S_1). Los valores máximos de mesófilos aerobios y coliformes totales fueron de 49, 100 y 300 UFC por cada 100 ml, por tanto no se detectaron coliformes fecales (Cuadro 12).

Los valores encontrados de conductividad eléctrica, que oscilaron entre 630 y $1,340 \mu\text{s cm}^{-1}$, pueden afectar cultivos sensibles (Allison et al., 1983). Se clasifican como no aceptables en materia de calidad de agua, ya que exceden el máximo propuesto por Durán et al. (2003) de $145 \mu\text{s cm}^{-1}$.

Cuadro 12. Análisis del agua del Río Salado del APFFLP.

| Parámetros (unidades) | 1 | 2 | 3 | 4 | NOM 127 | Allison et al. (1982) |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|
| pH | 8.61 | 8.81 | 8.75 | 8.83 | 6.5-8.5 | - |
| Conductividad ($\mu\text{s cm}^{-1}$ a 25°C) | 1,320 | 1,340 | 650 | 630 | - | <750 |
| Cationes totales (ppm) | 13.2 | 13.4 | 6.5 | 6.3 | - | - |
| Cationes | | | | | | |
| Ca + Mg (mg l^{-1}) | 1.36 | 1.36 | 1.02 | 1.19 | - | - |
| Ca (mg l^{-1}) | 6.8 | 10.2 | 13.6 | 10.2 | - | - |
| Mg (mg l^{-1}) | 12.24 | 10.2 | 4.08 | 8.16 | - | - |
| Na (mg l^{-1}) | 345 | 351.5 | 200 | 184 | 200 | - |
| K (mg l^{-1}) | 20.28 | 27.96 | 1.95 | 1.95 | - | - |
| Relación de adsorción de Na (%) | 20 | 24 | 8.5 | 9.5 | - | - |
| Na intercambiable (%) | 25 | 29 | 10.2 | 10.2 | - | - |
| Aniones totales | | | | | | |
| Cloruros (mg l^{-1}) | 513.33 | 513.33 | 70.29 | 85.55 | 250 | - |
| Sulfatos (mg l^{-1}) | 909.12 | 941.28 | 180 | 164.24 | 400 | - |
| Carbonatos (mg l^{-1}) | 177.3 | 70.8 | 70.8 | 70.8 | - | 75-150 |
| Bicarbonatos (mg l^{-1}) | 721.02 | 627.08 | 363.56 | 299.5 | - | - |
| CO ₃ + HCO ₃ (mg l^{-1}) | 543.72 | 556.28 | 292.76 | 228.7 | - | - |
| Carbonato de sodio residual (mg l^{-1}) | 785.76 | 825.12 | 348 | 291.84 | - | - |
| B (mg l^{-1}) | 2.36 | 3 | 0 | 2.4 | - | 0.33- 1.25* |
| Clasificación del agua con fines de riego | C ₃ -S ₃ | C ₄ -S ₄ | C ₂ -S ₂ | C ₂ -S ₁ | - | - |
| Mesófilos aerobios (UFC 100 ml) | 49,100 | 38,500 | 72,000 | 185,000 | - | - |
| Coliformes totales (UFC 100 ml) | 300 | 200 | 4,200 | 14,500 | 2 | - |
| Coliformes fecales (UFC 100 ml) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

*Para cultivos sensibles; puede llegar al orden de 3.75 mg l^{-1} para cultivos tolerantes.
1 y 2 en la zona de la Explanada, muy cerca del nacimiento del Río Salado.
3 y 4, en el balneario Chorros de Tala (salida de la microcuenca).

Los valores encontrados de conductividad eléctrica, que oscilaron entre 630 y 1,340 $\mu\text{s cm}^{-1}$, pueden afectar cultivos sensibles (Allison et al., 1983). Se clasifican como no aceptables en materia de calidad de agua, ya que exceden el máximo propuesto por Durán et al. (2003) de 145 $\mu\text{s cm}^{-1}$.

En cuanto a la calidad del agua con fines de riego se determinó un riesgo de salinidad y sodicidad alto (C_3-S_3), muy alto (C_4-S_4) y medio (C_2-S_2), en las tres primeras pruebas, la cuarta prueba presentó mediana peligrosidad por salinidad y baja peligrosidad por sodicidad (C_2-S_1), según la clasificación de Allison et al. (1983). García et al. (2008), alertan que el uso agrícola del agua proveniente del Río Salado no debe usarse en cultivos de consumo directo y observan deficiencias serias en la calidad del agua, así como limitaciones en uso como agua potable y recreativo.

El valor encontrado de K (27.96 mg l^{-1}) en una de las pruebas cercanas al nacimiento del Río Salado, rebasa el valor normal de $0.5-10 \text{ mg l}^{-1}$ reportado por Durán et al. (2003) para uso agrícola, caso contrario con los valores obtenidos de Ca (13.6 mg l^{-1}) en una prueba de la parte baja y con el Mg (12.24 mg l^{-1}) en una prueba de la parte alta, donde los niveles no alcanzaron el rango normal de $40-120 \text{ mg l}^{-1}$ y 24 mg l^{-1} , respectivamente (Durán et al., 2003). Algunos compuestos como cloruros y sulfatos sobrepasaron en más del doble las concentraciones permitidas para consumo humano, así mismo, el pH rebasó el límite permisible en todas las pruebas según la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994).

La presión osmótica en una solución alcalina puede superar a la de las células vegetales normales, esto dificulta la absorción de agua, así mismo, las partículas del suelo pueden formar costras que limitan la infiltración y el crecimiento de las plantas, además de que se dificulta la aplicación de enmiendas para corregir el problema (Cepeda, 1991).

VI. CONCLUSIONES

Todas las coberturas forestales y usos de suelo, en alguna fase del experimento, registraron tasas altas de retención, ya que la diferencia en los volúmenes medios no fue significativa, sin embargo, se pudo comprobar la hipótesis planteada de que el tipo de cobertura forestal y el uso del suelo influyen en las variables hidrológicas. Las altas tasas de retención de agua precipitada demuestran un papel primordial de los bosques en cuanto a la regulación del ciclo hidrológico.

El mayor escurrimiento superficial se presentó en los lotes desprovistos de vegetación. La densidad de la copa y del arbolado; el estrato herbáceo y la hojarasca influyen directamente en el escurrimiento, sin embargo, es de llamar la atención que hubo diferencias significativas dentro de algunas coberturas (i. e. *pastizal y bosque 25-50%*), esto permite inferir que si en una masa forestal densa o en un pastizal se presentan incendios, pastoreo, fuertes pendientes, entre otros factores, la recarga hídrica se verá afectada notablemente.

Los pastizales juegan un papel importante en el control de la erosión, ya que sus raíces ayudan a retener las partículas de suelo, si aunado a esto existe una cobertura arbórea con densidad de intermedia a alta (25-50% a 50-75%) la erosión se reducirá de manera notable. La producción total de sedimento se calculó en $618.37 \text{ t año}^{-1}$ para el área de estudio.

La condición de la cobertura forestal (la densidad de individuos, la estructura de diámetros y alturas, la conformación de la copa, el área basal del arbolado y la presencia de diferentes estratos de la vegetación), el uso del suelo (pastizal y sin vegetación) y el historial de perturbaciones (incendio y pastoreo), influyeron en la producción de sedimento. Aún dentro del mismo tipo de cobertura forestal como el bosque $>75\%$, se presentaron diferencias en los volúmenes de sedimentos obtenidos en las unidades de muestreo,

debido a la alta variación relacionada a los diferentes factores topográficos, edafológicos y de perturbación antrópica.

La estructura de la vegetación (densidad arbórea y área basal), las variables físicas (pedregosidad, relieve y exposición) y ambientales (incendios, pastoreo) de las coberturas forestales están relacionadas con la infiltración, el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo. La presencia de árboles supone una mayor infiltración si se compara con los pastizales o áreas sin vegetación, estas últimas permiten mayor escurrimiento superficial y erosión.

La densidad de la cobertura forestal cumple con su papel en la retención de agua y en la regulación de la pérdida de suelo, además, la presencia de árboles guarda una estrecha relación con la recarga de agua en las cuencas a través de la infiltración y la percolación.

El vulcanismo que dio origen a La Primavera tiene todavía una gran actividad que se refleja en los numerosos manantiales de agua caliente que dan origen al Río Salado. Los resultados del análisis de agua fueron de muestras cercanas del nacimiento de manantiales, por ende la presencia de un alto contenido de sales (cloruros, sulfatos), que rebasan los límites de la Norma de calidad de agua e indican como no apta para consumo humano ni para riego de cultivos de uso directo, sin embargo los resultados obtenidos no necesariamente reflejan la concentración para toda la cuenca. De acuerdo a los parámetros biológicos no se detectaron presencia de coliformes fecales.

Las coberturas arbóreas y los usos del suelo (pastizal y áreas sin vegetación) influyen en el potencial hidrológico de la microcuenca del Río Salado, por lo cual se sugiere fortalecer acciones para su conservación y preservación mediante acciones de manejo de acuerdo a la zonificación al interior del área protegida y la promoción del ordenación ecológica territorial en el área de circundante al Bosque La Primavera, de forma tal que se fomente la capacidad de recuperación que tienen este importante ecosistema forestal.

VII. LITERATURA CITADA

- Aguilar V. K. 2008. *Guía de identificación de rastros de mamíferos en el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Zapopan, Jalisco. 66 p.
- Alanís M. H., Návar, J. y Domínguez, P. A. 2000. The effect of prescribed burning on surface runoff in a pine forest stand of Chihuahua, Mexico. *Forest Ecology and Management* 137: 199-207.
- Allison L. E., Brown J. W., Hayward H. E., Richards L. A., Bernstein L., Fireman M., Pearson G. A., Wilcox L. V., Bower C. A., Hatcher J. T. y Reeve R. C. 1982. En: Richards L. A. Ed. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*, pp.75-88, Limusa, México, D. F.
- Anaya G. M., Martínez M. M. R., Trueba C. A., Figueroa S. B. y Fernández M. O. 1977. *Manual de conservación del suelo y del agua*. Colegio de Postgraduados, Chapingo.
- Arias M. J. A., Santiago P. A. L., Villavicencio G. R. F., Toledo G. S. L., Fregoso F. J. L. y Moreno M. L. 2008. Análisis preliminar del potencial hidrológico por tipo de cobertura en la microcuenca del Río Salado, Bosque La Primavera. En: Carvajal S. y Pimienta B. E. Eds. *2007 Avances en la investigación científica en el CUCBA*, pp. 30-33, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Arriaga, L., V. Aguilar, J. Alcocer, R. Jiménez, E. Muñoz y E. Vázquez (coordinadores). 2000b. *Regiones hidrológicas prioritarias*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Bachmann R., Villavicencio G. R., Santiago P. A. L. y Toledo G. S. L. 2009. Diagnóstico cartográfico de la erosión potencial hídrica en la microcuenca del Río Salado, Bosque La Primavera. En: Villavicencio G. R., Santiago P. A. L., Gallegos R. A., Hernández A. E., Hernández L. L. y Rodríguez A. O. Eds. *II Foro de investigación y conservación*

- del Bosque La Primavera: memorias*, pp. 82-90, Universidad de Guadalajara, Zapopan.
- Becerra M. A. 2005. *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo.
- Benavides-Solorio J., Flores-Garnica G., González-Guillén M., Moreno-González A., Valdez-Lazalde J. R. y Ruíz-Corral J. A. 2005. Modelaje hidrológico aplicando el modelo SWAT en la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco. En: *Memoria de extensos VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*, pp. 280-292, Chihuahua.
- Boada M. 2003. Los recursos naturales. En: Boada M. y Toledo V. M. Eds. *El planeta, nuestro cuerpo. La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad*, pp. 60-71, FCE-SEP-Conacyt, México, D. F.
- Bray D. B., Durán E., Ramos V. H., Mas J.-F., Velázquez A., Balas M. R., Barry D. y Radachowsky J. 2008. Tropical deforestation, community forests, and protected areas in the Maya forest, *Ecology and Society* 13(2): 56.
- Brown L. 2001. *El estado del mundo*. UNESCO. Barcelona.
- Bruijnzeel L. A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? [en línea], *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104. [fecha de consulta: 10 de noviembre de 2008]
- Brüschweiler S., Höggel U. y Kläy A. 2004. *Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo*. Centro de Desarrollo y Medio Ambiente. Berna.
- Calder I., Hofer T., Vermont S. y Warren P. 2007. Hacia una nueva comprensión de los bosques y el agua. *Unasylva* 229, Vol. 58: 3-10.
- Calder I. R. 2002. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. *Land Use and Water Resources Research* 2:1-12.
- Calder I. R. 2007. *How do forests influence water?* IUFRO Fact Sheet No. 2.
- Carabias L. J., de la Maza J. y Provencio E. 2009. Evolución de enfoques y tendencias en torno a la conservación y el uso de la biodiversidad. En: Sarukhán J., Koleff P., Carabias J., Soberón J., Dirzo R., Llorente-

- Bousquets J., Halffter G., González R., March I., Mohar A., Anta S. y de la Maza. *Capital Natural de México*, pp. 29-42, Conabio, México, D. F.
- Carabias L. J., Landa R. y Tudela F. 2005. *Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos de México*. 1ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México - El Colegio de México - Fundación Gonzalo Río Arronte. México, D.F. 219 p.
- Carrillo E. G. 2008. *Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo.
- Casillas G. J. A. 2004. La visión de la Sagarpa para el desarrollo integral de microcuencas hidrográficas. En: Cotler H. Comp. *El manejo integral de cuencas en México*, INE-Semarnat, México, D. F. pp. 211-221.
- Chacón S. L. A., Escárzaga V., Chacón S. J. M. y Pinedo A. C. 2007. Uso y aplicación de información geoespacial en la evaluación de servicios ambientales: caso biodiversidad en áreas naturales protegidas. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. *Libro de resúmenes*, pp. 354, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Chappell N. A. y Thang H. C. 2007. Procedimientos hidrológicos prácticos para la protección de los bosques tropicales: la experiencia de Malasia. *Unasylva* 58:17-21.
- Colin J. G., Treviño E. J., Aguirre C. O. A. y Jurado Y. E. 2007. Evaluación de variables edáficas y dasométricas de masas forestales en la Sierra Madre Occidental del estado de Nuevo León. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. *Libro de resúmenes*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. pp. 359
- Comisión Federal de Electricidad. 2002. *Estudio hidrológico de las microcuencas El Caracol y El Huilustre, estado de Jalisco, segunda etapa, erosión hídrica*. CFE-Colegio de Postgraduados. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2010. *Las áreas naturales protegidas de México*. Disponible en línea: http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/ [fecha de consulta: 23 de junio de 2010].

- Comisión Nacional Forestal. 2010. *Servicios Ambientales: pagos por servicios ambientales del bosque*. Disponible en línea: http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=362&Itemid=475 [fecha de consulta: 26 de enero de 2010].
- Consejo J. J., González A. y Vásquez A., 1995. *Las áreas naturales protegidas en México: entre el mito y la utopía*. Disponible en: <http://base.d-p-h.info/fr/fiches/premierdph/fiche-premierdph-4367.html>. [fecha de consulta: 14 de enero de 2009].
- Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Shahid N. I., O'Neill, R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P. y Van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Cotler H. 2004. Introducción. En: Cotler H. Comp. *El manejo integral de cuencas en México*, pp. 11-17, Semarnat-INE, México, D. F.
- Cotler H., Bocco G. y Velázquez A. 2005. El análisis del paisaje como base para la restauración ecológica. En: Sánchez O., Peters E., Márquez-Huitzil R., Vega E., Portales G., Valdés M. y Azuara D. Eds. *Temas sobre restauración ecológica*, pp. 135-145, Semarnat-INE, México, D. F.
- Cotler H. y Priego A. 2004. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Santiago. En: Cotler H. Comp. *El manejo integral de cuencas en México*, pp. 63-74, Semarnat-INE, México, D. F.
- Curiel B. A. y Garibay C. M. A. 2006. *Limitantes al desarrollo sustentable en Jalisco, marco para una agenda educativa participativa*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara.
- De la Maza E. R. 2007. *Una historia de las áreas naturales protegidas en México*. Disponible en línea: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/276/histanp.html> [fecha de consulta: 15 de enero de 2009].

- De Ploey J. y Gabriels D. 1991. Medición de la pérdida de suelo y estudios experimentales. En: Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. Comps. *Erosión de suelos*, pp 89-139, Limusa, México, D. F.
- Donovan D. G. 2007. El agua, los bosques y el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. *Unasyuva* 229 vol. 58: 62-63.
- Durán Q. A., Mora A. D. y Ramírez O. L. 2003. *Compendio de información para la producción vegetal: el libro verde*. Limusa-Universidad de Costa Rica. México, D. F.
- Evans R. 1991. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico. En: Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. Comps. *Erosión de suelos*, pp. 141-163, Limusa, _____.
- Fernow B. E. 1916. For a reasonable forest policy. *The New York Times*: 8. (Disponible en línea: <http://query.nytimes.com/gst/abstract.html?res=990CEED7173BE633A25754C0A96E9C946796D6CF>)
- Food and Agriculture Organization. 2007. Los bosques y el agua. *Unasyuva* 58:2.
- Food and Agriculture Organization. 2007a. *Why invest in watershed management?* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Fournier F. 1960. Climat et erosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Thèse du doctorat, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Paris, Paris, 198 pp.
- Franco R. A. e Insfran C. G. 2010. *Determinación de la variabilidad espacial de la infiltración de agua en un suelo del bajo Chaco*. Disponible en línea: <http://www.doopaper.com/pubs/genow/infiltracion-agua/>
- Freeman A. M. III. 2003. Economic valuation: what and why. En: Champ P. A., Boyle K. J. y Brown T. C. Eds. *A primer on nonmarket valuation*, pp. 1-25, Kluwer Academic, USA.
- Galarza, H. L. 2002. *Medidas de control del suelo para obtener una mayor respuesta del pastizal*, Unión Ganadera Regional de Nuevo León, 2002,

[fecha de consulta: 19 de enero de 2010]. Disponible en línea:
[http://fmvz.uat.edu.mx/Ganaderia/manejo de pastizales](http://fmvz.uat.edu.mx/Ganaderia/manejo%20de%20pastizales)

- Gallegos R. A., Abundio R. E., Carvajal S., Espinosa A. J. y Hernández A. J. 2006. Variación en la tipología del cambio de uso del suelo en el área de protección de flora y fauna "La Primavera" para el periodo 1980-2002. *Scientia-CUCBA* 2: 171-179.
- Gallegos R. A., Hernández A. E., Villavicencio G. R. y Rodríguez R. A. 1998. Sitios de control permanentes para el monitoreo de los recursos naturales en áreas protegidas del estado de Jalisco, México. En: *Simposium Norteamericano*, pp. 98, Sagar-INIFAP, Guadalajara.
- Gallegos R. A., Villavicencio G. R., Hernández A. E., Rodríguez R. A., Becerra S. C. F. y Muñoz R. C. A. 1998a. Permanent Control Sites for Monitoring Forest Resources in Protected Natural Areas in the State of Jalisco, México. En: Aguirre-Bravo C. y Rodríguez F. C. Comps. *North American Science Symposium: Toward a Unified Framework for Inventoying and Monitoring Forest Ecosystem Resources*, pp. 219-229, USDA-Forest Service.
- García E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana)*. Offset Larios, México, D. F.
- García O. A., Parada S. B., Gallegos R. A., Benavides S. J. de D., Hernández A. E. y Gómez A. J. R. 2006. Cuantificación de agua y carbono en plantaciones de *Tectona grandis* L. f., en Bahía de Banderas, Nayarit. En: Carvajal S. Ed. *2006 Avances en la investigación científica en el CUCBA*, pp. 63-68, Universidad de Guadalajara, Zapopan.
- García V. J., Orozco M. M. G., Petrovna Z. G., Casas S. J., Campos T. S., Rodríguez P. B., Rosas R. A., Contreras R. S., Jaime G. R., Hernández P. G. y Barajas G. J. F. 2008. Estudio preliminar de la calidad del agua en seis sistemas hídricos de Jalisco. En: Carvajal S. y Pimienta B. E. Eds. *2007 Avances en la investigación científica en el CUCBA*, pp. 279-283.

- Gauch H. G. Jr. 1982. *Multivariate analysis in community structure*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gay C. 2008. El cambio climático golpeará más a los países pobres. *La Gaceta* 515:9.
- Granados R. J. 2001. *Coberturas forestales en la conservación del suelo de la serranía La Primavera, Jalisco*. Tesis profesional, CUCBA, Universidad de Guadalajara, Zapopan, 39 pp.
- Granados S. D., Hernández G. M. A. y López R. G. F. 2005. *La cuenca hidrológica, unidad ecológica de manejo*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo.
- Herrerías D. Y. y Benítez-Malvido J. 2005. Consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas. En: Sánchez O., Peters E., Márquez-Huitzil R., Vega E., Portales G., Valdés M. y Azuara D. Eds. *Temas sobre restauración ecológica*, pp. 113-126, Semarnat-INE, México, D. F.
- Holdridge L. R. 1996. *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José.
- Ibarra M., Mancilla G. y Peralta M. 1996. Evaluación de la erosión hídrica bajo tres tipos de cubierta arbórea en la cordillera de Nahuelbuta. *Ciencias Forestales* 1-2:57-70.
- Ilstedt U., Malmer A., Verbeeten E. y Murdiyaso D. 2007, The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis, [en línea], Indonesia, 2007, [fecha de consulta: 11 de noviembre de 2008], *Forest ecology and management* 251.
- Kirkby M. J. 1991. El problema. En: Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. Comps. *Erosión de suelos*, pp 15-88, Limusa, México, D. F.
- Kirkby M. J. 1991a. Modelos de procesos de erosión hídrica. En: Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. Comps. *Erosión de suelos*, pp. 227-266.
- Landell-Mills N. y Porras I. T. 2002. *Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor*. International Institute for Environment and Development, London.

- Lee R. 1983. Ecosystem water balance. En: Mooney H. A. y Godron M. Eds. *Disturbance and ecosystems*, pp. 99-116, Springer-Verlag, Berlin.
- Linsley R. K., Kohler M. A. y Paulus J. L. H. 1988. *Hidrología para ingenieros*. McGraw-Hill. Naucalpan de Juárez.
- Loa L. E., Cervantes A. M., Durand S. L. y Peña J. A. 1998. Uso de la biodiversidad. En: *La diversidad biológica de México: estudio de país 1998*, pp. 104, Conabio, México, D. F.
- Macías M. A. 2004. La economía y su relación con el medio ambiente y el desarrollo sustentable. *Sustentabilidad* 2:7-38.
- Maciel-Flores R. 2006. Evolución bio-geológica, durante el pleistoceno, en la Sierra de La Primavera, Jalisco, México. Tesis doctoral, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, 85 pp.
- Maciel F. R. y Rosas E. J. 2002. La modificación del ecosistema en el paleolago pleistocénico de La Primavera como consecuencia de su evolución geológica, *Geos* 2:132-133.
- Maderey R. L. E. 2005. *Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*. UNAM. México, D. F.
- Malagnoux M., Sène E. H. y Atzmon N. 2007. Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. *Unasylva* 58:28-29.
- Malhotra N. K. 1997. *Investigación de mercados, un enfoque práctico*. Prentice Hall. Naucalpan de Juárez.
- Martín-Benito J. M. T. 2005. *El riego por aspersión y su tecnología*. Mundi-Presa. Madrid.
- Martínez A. V. 1999. Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre SIG. Tesis doctoral, Departamento de Construcción y Vías Rurales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, 453 pp.
- Martínez de Anguita P., Rivera S., Benitez J. M. y Cruz F. 2006. Establecimiento de un mecanismo de pago por servicios ambientales

- sobre un soporte GIS en la cuenca del Río Calan, Honduras. *GeoFocus* 7:152-181.
- Martínez G. M. A., De Irala E. J. y López-Azpiazu I. 2001. Correlación y regresión. En: Martínez-González M. A. Ed., De Irala E. J. y Faulín F. F. J. Co-eds. *Bioestadística amigable*, pp. 383-444, Díaz de Santos, Madrid.
- Martínez G. M. A. y Yanguas B. N. 2001. Comparación de más de dos medias: análisis de la varianza (ANOVA). En: Martínez-González M. A. Ed., De Irala E. J. y Faulín F. F. J. Co-eds. *Bioestadística amigable*, pp. 289-341, _____.
- Matteucci S. D. y Colma A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. OEA, Washington, D. C.
- McCune B. y Mefford M. J. 1999. *Multivariate analysis of ecological data V.4.14*. MJM Software, Gleneden Beach.
- Mendoza L., Pacheco O., Vento M., Barroso R. y Sánchez M. 2003. La cubierta vegetal como amortiguadora de los procesos erosivos en suelos con relieve llano a ondulado. Efectividad de algunos cultivos como protectores del suelo, *Centro Agrícola* 4:76-79.
- Milton J. S. 2001. *Estadística para biología y ciencias de la salud*. McGraw-Hill. Madrid.
- Miramontes L. E. y Topete-Angel J. P. 1987. *Manual de Agrología para Pequeñas Superficies*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara.
- Morgan R. P. C. 1991. Implicaciones. En: Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. Comps. *Erosión de suelos*, pp. 307-362, Limusa, México, D. F.
- Nava V. J. y Mallen R. C. 2007. Agua: indicador de la sustentabilidad forestal en San Nicolás Totolapan, Distrito Federal. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. *Libro de resúmenes*, pp. 172, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Nave M. R., Pedrani A., Vich A. y Maruani A. 1994. Ajuste del modelo de Horton mediante datos de infiltración obtenidos en el piedemonte mendocino. *Multequina* 3:133-140.

- NOM-011-CNA-2000. 2002. Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. *Diario oficial*. México, D. F.
- NOM-127-SSA1-1994. 2000. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Ortega P. A., Villavicencio G. R., Santiago P. A. L., Bachmann R. y Toledo G. S. L. 2008. Caracterización de la diversidad estructural de formaciones boscosas de pino-encino de la microcuenca del Río Salado del área protegida La Primavera. En: Carvajal S. y Pimienta E. Eds. 2007 *Avances en la investigación científica en el CUCBA*, pp. 34-38, Universidad de Guadalajara, Zapopan.
- Palacio-Prieto J. L., Sánchez-Salazar M. T., Casado I. J. M., Propin F. E., Delgado C. J., Velázquez M. A., Chias B. L., Ortiz A. M. I. y González S. J. 2004. Áreas naturales protegidas (ANP). En: Palacio-Prieto J. L., Sánchez-Salazar M. T., Casado I. J. M., Propin F. E., Delgado C. J., Velázquez M. A., Chias B. L., Ortiz A. M. I., González S. J., Negrete F. G., Gabriel M. J. y Márquez H. R. Eds. *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*, pp. 49, Semarnat-INE-UNAM, México, D. F.
- Palacio-Prieto J. L. 2004a. Cambio de uso de suelo y vegetación. En: Palacio-Prieto J. L., Sánchez-Salazar M. T., Casado I. J. M., Propin F. E., Delgado C. J., Velázquez M. A., Chias B. L., Ortiz A. M. I., González S. J., Negrete F. G., Gabriel M. J. y Márquez H. R. Eds. *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*, pp. 23-37._____.
- Palacio-Prieto J. L. 2004b. Tasa de deforestación. En: Palacio-Prieto J. L., Sánchez-Salazar M. T., Casado I. J. M., Propin F. E., Delgado C. J., Velázquez M. A., Chias B. L., Ortiz A. M. I., González S. J., Negrete F. G., Gabriel M. J. y Márquez H. R. Eds. *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*, pp. 38-39._____.
- Peña J. A., 2009. Conservación del patrimonio natural. *Dimensión antropológica*. Disponible en línea:

<http://www.dimensionantropologica.inah.gob.mx/index.php> [fecha de consulta: 25 de septiembre de 2009]

- Peña J. A., Durand S. L. y Álvarez E. C. 1998. Conservación. En: *La diversidad biológica de México: estudio de país 1998*, pp. 184-209, Conabio, México.
- Pérez G. J. C. 2004. Manejo integral de microcuencas en la subcuenca Guanajuato, Guanajuato. En: Cotler H. (Comp.) *El manejo integral de cuencas en México*, pp. 247-259, Semarnat-INE, México, D. F.
- Pérez R. N. y Curiel B. A. 1990. Efecto de la erosión en coberturas de pino en el bosque de La Primavera, Jalisco. *Tiempos de Ciencia* 21:29-31.
- Porras I. T., 2003. *Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas*, [en línea], Arequipa, Perú, presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/porras.pdf> [fecha de consulta: 28 de Noviembre de 2008]
- Ramírez-Cruz M., Oropeza-Mota J. L., Benavides-Solorio J. de D., Rodríguez-Trejo D. A. y Mejía-Saenz E. 2007. Impacto del fuego sobre el proceso físico de la erosión hídrica del suelo y el escurrimiento superficial, en un ecosistema forestal en el Ajusco, Distrito Federal, utilizando lluvia simulada. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. *Libro de Resúmenes*, pp. 138, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Ramírez D. R., Reynoso D. J. y Harker M. 2006. Estado actual del conocimiento florístico del Bosque La Primavera. En: Santiago P. A. L. Ed. *I Foro de Investigación y Conservación del Bosque La Primavera: Memorias*, pp. 158-162, Universidad de Guadalajara, Zapopan.
- Reyna B.O.F., Ahumada C. I. T. y Vázquez H. O. 2007. *Anfibios y reptiles del Bosque La Primavera, guía ilustrada*. Universidad de Guadalajara, Secretaría de Desarrollo Rural, Guadalajara. 125 p.
- Rhoades R. E., 1998. *Participatory watershed research and management: where the shadow falls*, Disponible en línea:

<http://www.iiied.org/pubs/pdfs/6148IIED.pdf> [fecha de consulta: 28 de Noviembre de 2008],

- Robert B. O., Ruán T. E., García R. S. y Graf M. S. 2001. Las amenidades de los bosques en áreas protegidas, Cerro Grande en la sierra de Manantlán. En: *Memorias de Resúmenes del V Congreso Mexicano de Recursos Forestales*, pp. 361-362, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Ruiz E. F., Venialgo C. A., Gutiérrez N. C., Ingaramo O. y Briend M. C. 2004. Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco). *Comunicaciones científicas y tecnológicas 2004. Resumen A-070*, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes.
- Ruiz-Corral J. A., González A. I. J., Anguiano C. J., Vizcaíno V. I., Ibarra C. D., Alcalá G. J., Espinoza V. S. y Flores L. H. E. 2003. *Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (periodo 1961-2000)*. INIFAP. México, D. F.
- Ruiz S. O. A., Acosta J. J. J. y León J. D. 2005. Escorrentía superficial en bosques montanos naturales y plantados de Piedras Blancas, Antioquia (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 58: 2635-2650
- Sánchez P. S., Vázquez G. M., López A. E. y Carvajal H. S. Eds. 2001. *Indicadores de sustentabilidad*. Universidad de Guadalajara. Zapopan.
- Santiago P. A. L., Villavicencio G. R. F., Gallegos R. A., Röder J. y Olea M. J. J. 2006. Condiciones físicas y estructura forestal de la microcuenca del Río Salado del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, como fase descriptiva para la valoración de pago por servicios ambientales. En: Carvajal S. Ed. 2006 - *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*, pp. 185-191, Universidad de Guadalajara, Zapopan.
- Santiago P. A. L. and Villavicencio G. R. 2007. Multiple analyses of environmental and structural variables to characterization of *Quercus-Pinus* forests in the La Primavera, Jalisco, México. En: The annual meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation, Morelia.

- Scott C. T., Tyrrell L. E., Smith M-L. y Funk D. T. 1998. A monitoring system for research natural areas in the Northeast and Midwest United States. En: *Simposium Norteamericano*, pp. 141, Sagar-INIFAP, Guadalajara.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. Conanp. México, D. F.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. 1995. *Programa de áreas naturales protegidas de México 1995-2000*. Semarnap..
- Smith R. L. y Smith T. M. 2001. *Ecología*. Pearson Educación, Madrid.
- Stadtmüller T. 1994. *Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo*. CATIE. Turrialba.
- Stolton S. y Dudley N. 2007. Gracias a la ordenación forestal, la población urbana obtiene unos suministros hídricos más limpios. *Unasyva* 58:39-43.
- Sustaita R. F., Ordaz C. F., Ortiz S. C. y De León G. F. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34:379-386.
- Thornes J. B. 1991. Procesos erosivos de las corrientes de agua y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista teórico. En: Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. Comps. *Erosión de suelos*, pp.165-225, Limusa, México, D. F.
- Toledo A. 2006. *Agua, hombre y paisaje*. Semarnat-INE. México, D. F.
- Torres R. J. M. y Guevara S. A. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta ecológica* 63:40-59.
- Troitiño V. M. A. 1993. Dimensión aplicada y utilidad social de la geografía. En: Cabrales B. L. F. Comp. *Espacio urbano, cambio social y geografía aplicada*, pp. 213-243, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Vanclay J. A., Thompson D., Saver J. A., McNeely J., Kaimowitz D., Gibbs A., Crompton H., Cameron D. y Bevege I. 2006. *A proposal for stewardship*

- support to private native forests in NSW*. Naturally Resourceful Pty, Lismore City.
- Van Dijk A. I. J. M. y Keenan R., *Planted forests and water in perspective*, [en línea], Australia, 2007, [fecha de consulta: 10 de noviembre de 2008], *Forest ecology and management* 251.
- Vigiak O., Ribolzi A., Pierret A., Valentin O., Sengtaheuanghoung O. y Noble A. 2007. Filtrado de los agentes contaminantes del agua por la vegetación ribereña: comparación del bambú con las pasturas nativas y el arroz en una cuenca en la República Democrática Popular Lao. *Unasyva* 58:11-16.
- Villalpando F. y García E. 1993. *Agroclimatología del estado de Jalisco*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara.
- Villavicencio G. R. 2005. Mapeo de la vegetación en áreas naturales mediante percepción remota. En: González F. C. R., Santiago P. A. L. y Villavicencio G. R. Eds. *Seminarios del Departamento de Producción Forestal 2005*, pp. 155-166, Universidad de Guadalajara, Zapopan.
- Villavicencio G. R. 2007. Antología del curso Manejo de áreas naturales (PF128). Universidad de Guadalajara. Zapopan.
- Villavicencio G. R., Santiago P. A. L., Topete A. J. P. y Toledo G. S. L. 2007. Diagnóstico del medio físico de la microcuenca Río Salado del área natural protegida La Primavera, para la valoración al PSA. En: *Memorias de la Reunión nacional SELPER Capítulo-México*. Monterrey, N. L.
- Villegas J. C. 2004. Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Revista EIA* 1:73-79.
- Viramontes O. O. A., Escoboza G. L. F., Calleros A. J. A. R., Gómez R. V. M., Pinedo A. C., Chacón J. M. y Pérez M. A. 2007. Caracterización hidrodinámica del suelo superficial en zonas forestales en la cuenca media y baja del Río Conchos. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. *Libro de Resúmenes*, pp. 127, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.

- Viramontes O. O. A., Escoboza G. L. F., Calleros A. J. A. R., Gómez R. V. M., Pinedo A. C., Chacón J. M. y Pérez M. A. 2007. Comportamiento hidrológico del suelo superficial en la parte alta y media de la cuenca del Río Conchos. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. *Libro de Resúmenes*, pp. 126, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Watkins T. Y. e Imbumi M. 2007. Los bosques del monte Kulal en Kenya: una fuente de recursos hídricos y de sostén de los medios de subsistencia locales. *Unasylva* 58:33-37.
- Winckell A. y Le Page M. 2004. Algunas relaciones entre cambios naturales, efectos antrópicos y degradación ambiental en la cuenca del Río Lerma. En: Cotler H. Comp. *El manejo integral de cuencas en México*, pp. 75-97, Sermarnat-INE, México, D. F.
- Working Group on Integrated Water Resources Management. 2006. Draft code of conduct on payments for ecosystem services in integrated water resources management. En: *Meeting of the parties to the convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes*, Unites Nations, Geneva.
- Zar J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. Upper Saddle River.
- Zavala-Hurtado J. A. 1986. *Introducción al enfoque multivariado en estudios de vegetación*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa.

VIII. APÉNDICE

8.1. Consideraciones finales

Se recomienda realizar para trabajos futuros sobre potencial hidrológico incluir un mayor número de lotes de escurrimiento, así como el monitoreo de largo plazo. En cuanto al tamaño de los lotes fue muy práctica la superficie de un metro cuadrado, ya que su instalación en campo es relativamente rápida y sus costos de mantenimiento mínimos.

Se colocaron varios pluviómetros debajo del dosel de algunos árboles, esto pudo afectar la lectura de los mismos y por lo tanto las mediciones basadas en la precipitación. Un mayor número de pluviómetros en zonas estratégicas o abiertas podrán registrar volúmenes de precipitación más confiables en futuras evaluaciones.

La planeación y diseño de caminos deberá estar técnicamente sustentada y limitada en zonas frágiles lo cual beneficiaría al no producirse sedimento en grandes cantidades, además de ser más económico a largo plazo. Estas obras deberán ir acompañadas de presas filtrantes o zanjas trincheras donde se capte el exceso de escurrimiento.

Las obras de conservación de suelos deben realizarse sobre todo en áreas de bosque abierto y zonas aledañas a pistas de ciclismo. Se recomienda preferentemente la zanja trinchera porque además de reducir la erosión hídrica, favorece una mayor infiltración de agua y ayuda en la sobrevivencia de las diversas especies vegetales, beneficia reteniendo y conservando la humedad en áreas específicas, además de que retiene azolves.

La creación de nuevos senderos o pistas de ciclismo implica compactación y erosión. Responder a un posible nuevo sendero, con acomodo

de troncos, zanjas o incluso con la intervención de guardabosques beneficiará al bosque.

El pastoreo sólo debe permitirse en Zonas de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas y bajo estricta vigilancia de la carga animal, o en su defecto, fomentar el policultivo, la cero-labranza y la agricultura orgánica.

Es necesario restringir el acceso de visitación pública a zonas frágiles o con alto potencial de erosión, donde ya no es posible que la vegetación se establezca nuevamente a causa de la compactación por vehículos o pisoteo constante. Aplicar compostas y residuos orgánicos aceleraría el proceso de rehabilitación de estas zonas.

8.2. Referencia de parámetros hidrológicos y pérdida de suelo de diferentes estudios en el Bosque La Primavera

| Referencia | Superficie (km ²) | Captación neta (Mm ³) | Escurrimiento (Mm ³) | Retención (mm ha año ⁻¹) | Infiltración (cm hr ⁻¹) | Producción de sedimento (t ha ⁻¹) | |
|---|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|--|--|---------------------------|
| | | | | | | Bosque | Sin vegetación |
| MRS (Arias 2010) ^g | 123.8 | 108.59 | 36.3 | 324±36.76 | 23±8.3 | 0.123±0.05 mes ⁻¹ * | 0.427 mes ⁻¹ * |
| MRS (Bachmann et al. 2009) | 123.8 | 121.3 | S. D. | 2-163 | S. D. | 10 año ⁻¹ | 50 año ⁻¹ |
| MRS (Villavicencio et al. 2007) | 123.8 | 121.3 | S. D. | 7.3-162.7 | S.D. | S. D. | S. D. |
| BLP (Pérez y Curiel 1990) | 305.0 | 240.0 | S. D. | S. D. | S. D. | 0.44 año ⁻¹ | 21.3 año ⁻¹ |
| Microcuenca Caracol (CFE 2002) ^f | 38.97 | 34.18 | 0.049 | S. D. | 0.5-13.17 | 0.043 | 23.43 |
| Microcuenca Huilustre (CFE 2002) ^f | 54.03 | 47.39 | 0.359 | S. D. | 0.5-13.17 | 0.043 | 23.43 |

^gEste trabajo

*Para el mes mas húmedo (julio)

^fLluvia simulada (139.3 mm hr⁻¹)

8.3. Ubicación de los lotes de escurrimiento

| LOTE | LATITUD | LONGITUD | Y | X | ALTITUD |
|----------|---------|-----------|--------------|-----------|---------|
| L0F1PAC | 20.6249 | -103.5675 | 2281292.0028 | 649260.53 | 1872.39 |
| L1F150C | 20.6226 | -103.5330 | 2281066.9774 | 652856.00 | 1679.94 |
| L3F125C | 20.6114 | -103.5460 | 2279821.7404 | 651517.46 | 1966.03 |
| L4F1SVC | 20.6123 | -103.5542 | 2279908.9126 | 650657.86 | 1926.07 |
| L5F125C | 20.6122 | -103.5535 | 2279895.9773 | 650734.00 | 1926.68 |
| L6F1SVC | 20.6112 | -103.5458 | 2279800.9720 | 651537.00 | 1682.99 |
| L7F175C | 20.6150 | -103.5615 | 2280205.9766 | 649890.00 | 1838.54 |
| L8F1PAC | 20.6153 | -103.5611 | 2280235.2812 | 649939.50 | 1866.90 |
| L9F175C | 20.6247 | -103.5669 | 2281270.5424 | 649318.64 | 1880.63 |
| L2F150C | 20.6201 | -103.5328 | 2280794.7064 | 652881.36 | 2010.25 |
| L1F2MEC | 20.7050 | -103.6213 | 2290112.1644 | 643580.79 | 1464.91 |
| L2F2PAC | 20.7041 | -103.6184 | 2290009.8858 | 643883.78 | 1478.03 |
| L3F2MEC | 20.6896 | -103.6145 | 2288409.3488 | 644299.50 | 1472.84 |
| L4F2PAC | 20.6905 | -103.6152 | 2288505.4725 | 644229.35 | 1447.22 |
| L5F250C | 20.6799 | -103.6169 | 2287339.6471 | 644061.81 | 1516.15 |
| L6F225C | 20.6812 | -103.6133 | 2287479.2992 | 644437.33 | 1520.42 |
| L7F250C | 20.6770 | -103.6158 | 2287020.0500 | 644178.62 | 1518.9 |
| L8F275C | 20.6704 | -103.6095 | 2286286.0443 | 644840.40 | 1530.79 |
| L9F225C | 20.6678 | -103.6003 | 2286008.5607 | 645795.89 | 1570.44 |
| L11F2SVC | 20.7118 | -103.6118 | 2290876.0290 | 644563.92 | 1514.93 |
| L12F2SVC | 20.7115 | -103.6114 | 2290842.2931 | 644599.87 | 1522.25 |
| L0F275C | 20.6687 | -103.5921 | 2286123.9731 | 646651.00 | 1699.99 |
| L11F1MEC | 20.6910 | -103.6082 | 2288575.9197 | 644958.89 | 1484.43 |
| L12F1MEC | 20.7085 | -103.6133 | 2290509.0330 | 644408.30 | 1496.63 |

8.4. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L1F150.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 21.30 | 1.30 | 1.70 | 78.00 | 102.00 | 0.000 | 0.230 |
| 1 | 2 | 1.5 | 22.50 | 1.20 | 2.90 | 72.00 | 174.00 | 0.301 | 0.462 |
| 1 | 3 | 2.5 | 23.80 | 1.30 | 4.20 | 78.00 | 126.00 | 0.477 | 0.623 |
| 2 | 5 | 4.0 | 25.00 | 1.20 | 5.40 | 36.00 | 108.00 | 0.699 | 0.732 |
| 1 | 6 | 5.5 | 26.10 | 1.10 | 6.50 | 66.00 | 78.00 | 0.778 | 0.813 |
| 1 | 7 | 6.5 | 26.60 | 0.50 | 7.00 | 30.00 | 70.00 | 0.845 | 0.845 |
| 1 | 8 | 7.5 | 27.60 | 1.00 | 8.00 | 60.00 | 68.57 | 0.903 | 0.903 |
| 1 | 9 | 8.5 | 28.60 | 1.00 | 9.00 | 60.00 | 67.50 | 0.954 | 0.954 |
| 1 | 10 | 9.5 | 29.30 | 0.70 | 9.70 | 42.00 | 64.67 | 1.000 | 0.987 |
| 1 | 11 | 10.5 | 30.40 | 1.10 | 10.80 | 66.00 | 64.80 | 1.041 | 1.033 |
| 1 | 12 | 11.5 | 31.10 | 0.70 | 11.50 | 42.00 | 62.73 | 1.079 | 1.061 |
| 1 | 13 | 12.5 | 31.90 | 0.80 | 12.30 | 48.00 | 61.50 | 1.114 | 1.090 |
| 1 | 14 | 13.5 | 32.50 | 0.60 | 12.90 | 36.00 | 59.54 | 1.146 | 1.111 |
| 1 | 15 | 14.5 | 33.10 | 0.60 | 13.50 | 36.00 | 57.86 | 1.176 | 1.130 |
| 5 | 20 | 17.5 | 37.60 | 4.50 | 18.00 | 54.00 | 72.00 | 1.301 | 1.255 |
| 5 | 25 | 22.5 | 40.90 | 3.30 | 21.30 | 39.60 | 63.90 | 1.398 | 1.328 |
| 5 | 30 | 27.5 | 45.40 | 4.50 | 25.80 | 54.00 | 61.92 | 1.477 | 1.412 |
| 5 | 35 | 32.5 | 49.60 | 4.20 | 30.00 | 50.40 | 60.00 | 1.544 | 1.477 |
| 5 | 40 | 37.5 | 53.60 | 4.00 | 34.00 | 48.00 | 58.29 | 1.602 | 1.531 |
| 5 | 45 | 42.5 | 57.00 | 3.40 | 37.40 | 40.80 | 56.10 | 1.653 | 1.573 |
| 5 | 50 | 47.5 | 60.10 | 3.10 | 40.50 | 37.20 | 54.00 | 1.699 | 1.607 |
| 5 | 55 | 52.5 | 65.10 | 5.00 | 45.50 | 60.00 | 54.60 | 1.740 | 1.658 |
| 5 | 60 | 57.5 | 68.70 | 3.60 | 49.10 | 43.20 | 53.56 | 1.778 | 1.691 |
| 5 | 65 | 62.5 | 71.30 | 2.60 | 51.70 | 31.20 | 51.70 | 1.813 | 1.713 |
| 5 | 70 | 67.5 | 75.30 | 4.00 | 55.70 | 48.00 | 51.42 | 1.845 | 1.746 |
| 5 | 75 | 72.5 | 77.90 | 2.60 | 58.30 | 31.20 | 49.97 | 1.875 | 1.766 |
| 5 | 80 | 77.5 | 81.90 | 4.00 | 62.30 | 48.00 | 49.84 | 1.903 | 1.794 |
| 5 | 85 | 82.5 | 84.50 | 2.60 | 64.90 | 31.20 | 48.68 | 1.929 | 1.812 |
| 10 | 95 | 90.0 | 89.80 | 5.30 | 70.20 | 31.80 | 49.55 | 1.978 | 1.846 |
| 10 | 105 | 100.0 | 97.40 | 7.60 | 77.80 | 45.60 | 49.14 | 2.021 | 1.891 |
| 10 | 115 | 110.0 | 104.40 | 7.00 | 84.80 | 42.00 | 48.46 | 2.061 | 1.928 |
| 10 | 125 | 120.0 | 111.90 | 7.50 | 92.30 | 45.00 | 48.16 | 2.097 | 1.965 |
| 10 | 135 | 130.0 | 118.70 | 6.80 | 99.10 | 40.80 | 47.57 | 2.130 | 1.996 |

| t (') | cm | IB cm/hr |
|-------|------|----------|
| 1 | 74.3 | 36.40 |
| 10 | 52.7 | 36.40 |
| 30 | 44.7 | 36.40 |
| 60 | 40.3 | 36.40 |
| 90 | 37.9 | 36.40 |
| 120 | 36.3 | 36.40 |
| 150 | 35.1 | 36.40 |
| 160 | 34.8 | 36.40 |
| 200 | 33.7 | 36.40 |
| 300 | 31.7 | 36.40 |
| 400 | 30.4 | 36.40 |
| 500 | 29.4 | 36.40 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 1.46 n = -0.15
a = 0.85 T = 0.49
k = 74.32 IB = 36.4020391

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 13 | 7 | 0 | 78 | 58 | 0 | 2 | 144.00 |
| prueba 2 | 14 | 6 | 19 | 64 | 62 | 0 | 0 | 115.00 |
| prueba 3 | 24 | 1 | 17 | 75 | 63 | 0 | 8 | 152.00 |
| | | | | | | | promedio | 137 |

8.5. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L2F150.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 20.70 | 0.70 | 0.70 | 42.00 | 42.00 | 0.000 | -0.155 |
| 1 | 2 | 1.5 | 21.20 | 0.50 | 1.20 | 30.00 | 72.00 | 0.301 | 0.079 |
| 1 | 3 | 2.5 | 21.70 | 0.50 | 1.70 | 30.00 | 51.00 | 0.477 | 0.230 |
| 1 | 4 | 3.5 | 22.10 | 0.40 | 2.10 | 24.00 | 42.00 | 0.602 | 0.322 |
| 1 | 5 | 4.5 | 23.00 | 0.90 | 3.00 | 54.00 | 45.00 | 0.699 | 0.477 |
| 1 | 6 | 5.5 | 23.00 | 0.00 | 3.00 | 0.00 | 36.00 | 0.778 | 0.477 |
| 5 | 11 | 8.5 | 25.40 | 2.40 | 5.40 | 28.80 | 54.00 | 1.041 | 0.732 |
| 5 | 16 | 13.5 | 27.40 | 2.00 | 7.40 | 24.00 | 40.36 | 1.204 | 0.869 |
| 5 | 21 | 18.5 | 29.10 | 1.70 | 9.10 | 20.40 | 34.13 | 1.322 | 0.959 |
| 5 | 26 | 23.5 | 31.10 | 2.00 | 11.10 | 24.00 | 31.71 | 1.415 | 1.045 |
| 5 | 31 | 28.5 | 33.00 | 1.90 | 13.00 | 22.80 | 30.00 | 1.491 | 1.114 |
| 5 | 36 | 33.5 | 34.90 | 1.90 | 14.90 | 22.80 | 28.84 | 1.556 | 1.173 |
| 15 | 51 | 43.5 | 40.30 | 5.40 | 20.30 | 21.60 | 33.83 | 1.708 | 1.307 |
| 15 | 66 | 58.5 | 45.80 | 5.50 | 25.80 | 22.00 | 30.35 | 1.820 | 1.412 |
| 15 | 81 | 73.5 | 51.20 | 5.40 | 31.20 | 21.60 | 28.36 | 1.908 | 1.494 |
| 15 | 96 | 88.5 | 56.60 | 5.40 | 36.60 | 21.60 | 27.11 | 1.982 | 1.563 |
| 20 | 116 | 106.0 | 63.50 | 6.90 | 43.50 | 20.70 | 27.19 | 2.064 | 1.638 |
| 20 | 136 | 126.0 | 70.30 | 6.80 | 50.30 | 20.40 | 26.02 | 2.134 | 1.702 |
| 20 | 156 | 146.0 | 77.30 | 7.00 | 57.30 | 21.00 | 25.28 | 2.193 | 1.758 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 0.66 n = -0.12
a = 0.88 T = 0.57
k = 34.58 IB = 19.55092418

| t (') | cm | IB cm/hr |
|-------|-------|----------|
| 1 | 34.58 | 19.55 |
| 10 | 26.07 | 19.55 |
| 30 | 22.78 | 19.55 |
| 60 | 20.92 | 19.55 |
| 90 | 19.9 | 19.55 |
| 120 | 19.21 | 19.55 |
| 150 | 18.69 | 19.55 |
| 160 | 18.55 | 19.55 |
| 200 | 18.05 | 19.55 |
| 300 | 17.17 | 19.55 |
| 400 | 16.57 | 19.55 |
| 500 | 16.13 | 19.55 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIENTO PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-------|
| prueba 1 | 11 | 1 | 1 | 92 | 104 | 1 | 0 | 206 |
| prueba 2 | 1 | 8 | 0 | 107 | 102 | 0 | 0 | 202 |
| prueba 3 | 5 | 5 | 0 | 106 | 90 | 6 | 25 | 227 |
| | | | | | | promedio | | 211.7 |

8.6. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L4F2PA.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 21.00 | 1.00 | 1.00 | 60.00 | 60.00 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 2 | 1.5 | 21.60 | 0.60 | 1.60 | 36.00 | 96.00 | 0.301 | 0.204 |
| 1 | 3 | 2.5 | 22.10 | 0.50 | 2.10 | 30.00 | 63.00 | 0.477 | 0.322 |
| 1 | 4 | 3.5 | 22.70 | 0.60 | 2.70 | 36.00 | 54.00 | 0.602 | 0.431 |
| 1 | 5 | 4.5 | 23.20 | 0.50 | 3.20 | 30.00 | 48.00 | 0.699 | 0.505 |
| 5 | 10 | 7.5 | 25.50 | 2.30 | 5.50 | 27.60 | 66.00 | 1.000 | 0.740 |
| 5 | 15 | 12.5 | 27.60 | 2.10 | 7.60 | 25.20 | 45.60 | 1.176 | 0.881 |
| 5 | 20 | 17.5 | 29.50 | 1.90 | 9.50 | 22.80 | 38.00 | 1.301 | 0.978 |
| 5 | 25 | 22.5 | 31.40 | 1.90 | 11.40 | 22.80 | 34.20 | 1.398 | 1.057 |
| 5 | 30 | 27.5 | 31.40 | 0.00 | 11.40 | 0.00 | 27.36 | 1.477 | 1.057 |
| 5 | 35 | 32.5 | 31.40 | 0.00 | 11.40 | 0.00 | 22.80 | 1.544 | 1.057 |
| 5 | 40 | 37.5 | 33.40 | 2.00 | 13.40 | 24.00 | 22.97 | 1.602 | 1.127 |
| 15 | 55 | 47.5 | 36.70 | 3.30 | 16.70 | 13.20 | 25.05 | 1.740 | 1.223 |
| 15 | 70 | 62.5 | 41.50 | 4.80 | 21.50 | 19.20 | 23.45 | 1.845 | 1.332 |
| 15 | 85 | 77.5 | 45.80 | 4.30 | 25.80 | 17.20 | 22.11 | 1.929 | 1.412 |
| 15 | 100 | 92.5 | 50.00 | 4.20 | 30.00 | 16.80 | 21.18 | 2.000 | 1.477 |
| 20 | 120 | 110.0 | 55.60 | 5.60 | 35.60 | 16.80 | 21.36 | 2.079 | 1.551 |
| 20 | 140 | 130.0 | 60.10 | 4.50 | 40.10 | 13.50 | 20.05 | 2.146 | 1.603 |
| 20 | 160 | 150.0 | 64.30 | 4.20 | 44.30 | 12.60 | 18.99 | 2.204 | 1.646 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 0.96 n = -0.26
a = 0.74 T = 0.26
k = 42.85 IB = 11.1620431

| t (') | cm | IB cm/hr |
|-------|-------|----------|
| 1 | 42.85 | 11.16 |
| 10 | 23.59 | 11.16 |
| 30 | 17.75 | 11.16 |
| 60 | 14.83 | 11.16 |
| 90 | 13.35 | 11.16 |
| 120 | 12.39 | 11.16 |
| 150 | 11.7 | 11.16 |
| 160 | 11.5 | 11.16 |
| 200 | 10.86 | 11.16 |
| 300 | 9.772 | 11.16 |
| 400 | 9.07 | 11.16 |
| 500 | 8.561 | 11.16 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 67 | 0 | 0 | 30 | 74 | 1 | 9 | 181.00 |
| prueba 2 | 89 | 0 | 0 | 15 | 40 | 3 | 11 | 158.00 |
| prueba 3 | 52 | 0 | 2 | 13 | 15 | 14 | 4 | 96.00 |
| | | | | | | | promedio | 145 |

8.7. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L4F2PAi.

| Intervalo (^o) | t (^o) | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|-------------------------------|--------------------|----------|----------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|------------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 21.40 | 1.40 | 1.40 | 84.00 | 84.00 | 0.000 | 0.146 |
| 1 | 2 | 1.5 | 22.70 | 1.30 | 2.70 | 78.00 | 162.00 | 0.301 | 0.431 |
| 1 | 3 | 2.5 | 23.70 | 1.00 | 3.70 | 60.00 | 111.00 | 0.477 | 0.568 |
| 1 | 4 | 3.5 | 24.70 | 1.00 | 4.70 | 60.00 | 94.00 | 0.602 | 0.672 |
| 1 | 5 | 4.5 | 25.60 | 0.90 | 5.60 | 54.00 | 84.00 | 0.699 | 0.748 |
| 1 | 6 | 5.5 | 26.50 | 0.90 | 6.50 | 54.00 | 78.00 | 0.778 | 0.813 |
| 5 | 11 | 8.5 | 30.60 | 4.10 | 10.60 | 49.20 | 106.00 | 1.041 | 1.025 |
| 5 | 16 | 13.5 | 34.20 | 3.60 | 14.20 | 43.20 | 77.45 | 1.204 | 1.152 |
| 5 | 21 | 18.5 | 36.40 | 2.20 | 16.40 | 26.40 | 61.50 | 1.322 | 1.215 |
| 5 | 26 | 23.5 | 36.40 | 0.00 | 16.40 | 0.00 | 46.86 | 1.415 | 1.215 |
| 5 | 31 | 28.5 | 40.50 | 4.10 | 20.50 | 49.20 | 47.31 | 1.491 | 1.312 |
| 5 | 36 | 33.5 | 44.10 | 3.60 | 24.10 | 43.20 | 46.65 | 1.556 | 1.382 |
| 5 | 41 | 38.5 | 46.30 | 2.20 | 26.30 | 26.40 | 43.83 | 1.613 | 1.420 |
| 5 | 46 | 43.5 | 49.30 | 3.00 | 29.30 | 36.00 | 42.88 | 1.663 | 1.467 |
| 5 | 51 | 48.5 | 52.30 | 3.00 | 32.30 | 36.00 | 42.13 | 1.708 | 1.509 |
| 5 | 56 | 53.5 | 55.30 | 3.00 | 35.30 | 36.00 | 41.53 | 1.748 | 1.548 |
| 15 | 71 | 63.5 | 63.10 | 7.80 | 43.10 | 31.20 | 46.18 | 1.851 | 1.634 |
| 15 | 86 | 78.5 | 70.50 | 7.40 | 50.50 | 29.60 | 42.68 | 1.934 | 1.703 |
| 15 | 101 | 93.5 | 77.80 | 7.30 | 57.80 | 29.20 | 40.33 | 2.004 | 1.762 |
| 20 | 121 | 111.0 | 86.60 | 8.80 | 66.60 | 26.40 | 39.56 | 2.083 | 1.823 |
| 20 | 141 | 131.0 | 95.00 | 8.40 | 75.00 | 25.20 | 37.19 | 2.149 | 1.875 |
| 20 | 161 | 151.0 | 103.20 | 8.20 | 83.20 | 24.60 | 35.40 | 2.207 | 1.920 |
| 20 | 181 | 171.0 | 111.20 | 8.00 | 91.20 | 24.00 | 33.99 | 2.258 | 1.960 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 1.52 n = -0.21823516
a = 0.78 T = 0.331870485
k = 71.44 IB = 23.71037566

| T | cm | IB cm/hr |
|-----|------|----------|
| 1 | 71.4 | 23.710 |
| 10 | 43.2 | 23.710 |
| 30 | 34 | 23.710 |
| 60 | 29.2 | 23.710 |
| 90 | 26.8 | 23.710 |
| 120 | 25.1 | 23.710 |
| 150 | 23.9 | 23.710 |
| 160 | 23.6 | 23.710 |
| 200 | 22.5 | 23.710 |
| 300 | 20.6 | 23.710 |
| 400 | 19.3 | 23.710 |
| 500 | 18.4 | 23.710 |

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 67 | 0 | 0 | 30 | 74 | 1 | 9 | 181.00 |
| prueba 2 | 89 | 0 | 0 | 15 | 40 | 3 | 11 | 158.00 |
| prueba 3 | 52 | 0 | 2 | 13 | 15 | 14 | 4 | 96.00 |

8.8. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L5F125.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 19.90 | 0.90 | 0.90 | 54.00 | 54.00 | 0.000 | -0.046 |
| 1 | 2 | 1.5 | 20.20 | 0.30 | 1.20 | 18.00 | 72.00 | 0.301 | 0.079 |
| 1 | 3 | 2.5 | 21.30 | 1.10 | 2.30 | 66.00 | 69.00 | 0.477 | 0.362 |
| 1 | 4 | 3.5 | 21.80 | 0.50 | 2.80 | 30.00 | 56.00 | 0.602 | 0.447 |
| 1 | 5 | 4.5 | 22.30 | 0.50 | 3.30 | 30.00 | 49.50 | 0.699 | 0.519 |
| 1 | 6 | 5.5 | 22.90 | 0.60 | 3.90 | 36.00 | 46.80 | 0.778 | 0.591 |
| 5 | 11 | 8.5 | 25.60 | 2.70 | 6.60 | 32.40 | 66.00 | 1.041 | 0.820 |
| 5 | 16 | 13.5 | 28.20 | 2.60 | 9.20 | 31.20 | 50.18 | 1.204 | 0.964 |
| 5 | 21 | 18.5 | 30.80 | 2.60 | 11.80 | 31.20 | 44.25 | 1.322 | 1.072 |
| 5 | 26 | 23.5 | 32.90 | 2.10 | 13.90 | 25.20 | 39.71 | 1.415 | 1.143 |
| 5 | 31 | 28.5 | 35.90 | 3.00 | 16.90 | 36.00 | 39.00 | 1.491 | 1.228 |
| 5 | 36 | 33.5 | 38.30 | 2.40 | 19.30 | 28.80 | 37.35 | 1.556 | 1.286 |
| 15 | 51 | 43.5 | 45.50 | 7.20 | 26.50 | 28.80 | 44.17 | 1.708 | 1.423 |
| 15 | 66 | 58.5 | 52.60 | 7.10 | 33.60 | 28.40 | 39.53 | 1.820 | 1.526 |
| 15 | 81 | 73.5 | 59.60 | 7.00 | 40.60 | 28.00 | 36.91 | 1.908 | 1.609 |
| 15 | 96 | 88.5 | 66.70 | 7.10 | 47.70 | 28.40 | 35.33 | 1.982 | 1.679 |
| 20 | 116 | 106.0 | 75.90 | 9.20 | 56.90 | 27.60 | 35.56 | 2.064 | 1.755 |
| 20 | 136 | 126.0 | 85.10 | 9.20 | 66.10 | 27.60 | 34.19 | 2.134 | 1.820 |
| 20 | 156 | 146.0 | 94.30 | 9.20 | 75.30 | 27.60 | 33.22 | 2.193 | 1.877 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 0.78 n = -0.10
a = 0.90 T = 0.63
k = 42.21 IB = 26.4778822

| t | cm | IB cm/hr |
|-----|------|----------|
| 1 | 42.2 | 26.48 |
| 10 | 33.3 | 26.48 |
| 30 | 29.8 | 26.48 |
| 60 | 27.7 | 26.48 |
| 90 | 26.6 | 26.48 |
| 120 | 25.8 | 26.48 |
| 150 | 25.2 | 26.48 |
| 160 | 25.1 | 26.48 |
| 200 | 24.5 | 26.48 |
| 300 | 23.5 | 26.48 |
| 400 | 22.8 | 26.48 |
| 500 | 22.3 | 26.48 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 53 | 0 | 0 | 82 | 30 | 0 | 1 | 166.00 |
| prueba 2 | 47 | 0 | 0 | 100 | 48 | 0 | 0 | 195.00 |
| prueba 3 | 70 | 0 | 5 | 100 | 63 | 0 | 1 | 229.00 |
| | | | | | | | promedio | 196.7 |

8.9. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L3F125.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 19.10 | 1.10 | 1.10 | 66.00 | 66.00 | 0.000 | 0.041 |
| 1 | 2 | 1.5 | 20.20 | 1.10 | 2.20 | 66.00 | 132.00 | 0.301 | 0.342 |
| 1 | 3 | 2.5 | 21.30 | 1.10 | 3.30 | 66.00 | 99.00 | 0.477 | 0.519 |
| 1 | 4 | 3.5 | 22.30 | 1.00 | 4.30 | 60.00 | 86.00 | 0.602 | 0.633 |
| 5 | 9 | 6.5 | 27.00 | 4.70 | 9.00 | 56.40 | 135.00 | 0.954 | 0.954 |
| 5 | 14 | 11.5 | 31.10 | 4.10 | 13.10 | 49.20 | 87.33 | 1.146 | 1.117 |
| 5 | 19 | 16.5 | 36.00 | 4.90 | 18.00 | 58.80 | 77.14 | 1.279 | 1.255 |
| 5 | 24 | 21.5 | 39.70 | 3.70 | 21.70 | 44.40 | 68.53 | 1.380 | 1.336 |
| 5 | 29 | 26.5 | 45.60 | 5.90 | 27.60 | 70.80 | 69.00 | 1.462 | 1.441 |
| 5 | 34 | 31.5 | 49.10 | 3.50 | 31.10 | 42.00 | 64.34 | 1.531 | 1.493 |
| 15 | 49 | 41.5 | 60.70 | 11.60 | 42.70 | 46.40 | 75.35 | 1.690 | 1.630 |
| 15 | 64 | 56.5 | 72.20 | 11.50 | 54.20 | 46.00 | 66.37 | 1.806 | 1.734 |
| 15 | 79 | 71.5 | 83.40 | 11.20 | 65.40 | 44.80 | 61.31 | 1.898 | 1.816 |
| 15 | 94 | 86.5 | 93.90 | 10.50 | 75.90 | 42.00 | 57.65 | 1.973 | 1.880 |
| 20 | 114 | 104.0 | 107.40 | 13.50 | 89.40 | 40.50 | 57.06 | 2.057 | 1.951 |
| 20 | 134 | 124.0 | 120.60 | 13.20 | 102.60 | 39.60 | 54.00 | 2.127 | 2.011 |
| 20 | 154 | 144.0 | 133.40 | 12.80 | 115.40 | 38.40 | 51.67 | 2.188 | 2.062 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 1.18 n = -0.08
a = 0.92 T = 0.70
k = 64.83 IB = 45.38928742

| t | cm | IB cm/hr |
|-----|-------|----------|
| 1 | 64.83 | 45.39 |
| 10 | 53.82 | 45.39 |
| 30 | 49.25 | 45.39 |
| 60 | 46.57 | 45.39 |
| 90 | 45.07 | 45.39 |
| 120 | 44.03 | 45.39 |
| 150 | 43.24 | 45.39 |
| 160 | 43.02 | 45.39 |
| 200 | 42.25 | 45.39 |
| 300 | 40.89 | 45.39 |
| 400 | 39.95 | 45.39 |
| 500 | 39.23 | 45.39 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 70 | 9 | 0 | 92 | 22 | 26 | 47 | 248.00 |
| prueba 2 | 42 | 15 | 0 | 71 | 2 | 9 | 43 | 152.00 |
| prueba 3 | 33 | 34 | 0 | 20 | 7 | 7 | 19 | 52.00 |
| | | | | | | | promedio | 150.67 |

8.10. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L9F175.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 20.70 | 0.70 | 0.70 | 42.00 | 42.00 | 0.000 | -0.155 |
| 1 | 2 | 1.5 | 21.50 | 0.80 | 1.50 | 48.00 | 90.00 | 0.301 | 0.176 |
| 1 | 3 | 2.5 | 22.20 | 0.70 | 2.20 | 42.00 | 66.00 | 0.477 | 0.342 |
| 1 | 4 | 3.5 | 22.60 | 0.40 | 2.60 | 24.00 | 52.00 | 0.602 | 0.415 |
| 1 | 5 | 4.5 | 23.10 | 0.50 | 3.10 | 30.00 | 46.50 | 0.699 | 0.491 |
| 1 | 6 | 5.5 | 23.50 | 0.40 | 3.50 | 24.00 | 42.00 | 0.778 | 0.544 |
| 5 | 11 | 8.5 | 25.70 | 2.20 | 5.70 | 26.40 | 57.00 | 1.041 | 0.756 |
| 5 | 16 | 13.5 | 27.80 | 2.10 | 7.80 | 25.20 | 42.55 | 1.204 | 0.892 |
| 5 | 21 | 18.5 | 29.80 | 2.00 | 9.80 | 24.00 | 36.75 | 1.322 | 0.991 |
| 5 | 26 | 23.5 | 31.90 | 2.10 | 11.90 | 25.20 | 34.00 | 1.415 | 1.076 |
| 15 | 41 | 33.5 | 37.80 | 5.90 | 17.80 | 23.60 | 41.08 | 1.613 | 1.250 |
| 15 | 56 | 48.5 | 43.50 | 5.70 | 23.50 | 22.80 | 34.39 | 1.748 | 1.371 |
| 15 | 71 | 63.5 | 49.00 | 5.50 | 29.00 | 22.00 | 31.07 | 1.851 | 1.462 |
| 20 | 91 | 81.0 | 56.20 | 7.20 | 36.20 | 21.60 | 30.59 | 1.959 | 1.559 |
| 20 | 111 | 101.0 | 63.50 | 7.30 | 43.50 | 21.90 | 28.68 | 2.045 | 1.638 |
| 20 | 131 | 121.0 | 71.00 | 7.50 | 51.00 | 22.50 | 27.57 | 2.117 | 1.708 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 0.77 n = -0.15
a = 0.85 T = 0.49
k = 39.47 IB = 19.28310021

| t (') | cm | IB cm/hr |
|-------|-------|----------|
| 1 | 39.47 | 19.28 |
| 10 | 27.95 | 19.28 |
| 30 | 23.7 | 19.28 |
| 60 | 21.36 | 19.28 |
| 90 | 20.1 | 19.28 |
| 120 | 19.26 | 19.28 |
| 150 | 18.62 | 19.28 |
| 160 | 18.44 | 19.28 |
| 200 | 17.84 | 19.28 |
| 300 | 16.78 | 19.28 |
| 400 | 16.08 | 19.28 |
| 500 | 15.55 | 19.28 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 0 | 0 | 0 | 100 | 21 | 0 | 0 | 121.00 |
| prueba 2 | 0 | 5 | 3 | 100 | 42 | 8 | 0 | 142.00 |
| prueba 3 | 14 | 47 | 28 | 40 | 55 | 4 | 19 | 57.00 |
| | | | | | | | promedio | 106.67 |

8.11. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L9F175i.

| Intervalo (") | t (") | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 21.60 | 1.60 | 1.60 | 96.00 | 96.00 | 0.000 | 0.204 |
| 1 | 2 | 1.5 | 22.70 | 1.10 | 2.70 | 66.00 | 162.00 | 0.301 | 0.431 |
| 1 | 3 | 2.5 | 24.00 | 1.30 | 4.00 | 78.00 | 120.00 | 0.477 | 0.602 |
| 1 | 4 | 3.5 | 25.00 | 1.00 | 5.00 | 60.00 | 100.00 | 0.602 | 0.699 |
| 1 | 5 | 4.5 | 26.00 | 1.00 | 6.00 | 60.00 | 90.00 | 0.699 | 0.778 |
| 1 | 6 | 5.5 | 26.80 | 0.80 | 6.80 | 48.00 | 81.60 | 0.778 | 0.833 |
| 4 | 10 | 8.0 | 29.80 | 3.00 | 9.80 | 45.00 | 98.00 | 1.000 | 0.991 |
| 5 | 15 | 12.5 | 32.90 | 3.10 | 12.90 | 37.20 | 77.40 | 1.176 | 1.111 |
| 5 | 20 | 17.5 | 36.60 | 3.70 | 16.60 | 44.40 | 66.40 | 1.301 | 1.220 |
| 5 | 25 | 22.5 | 40.10 | 3.50 | 20.10 | 42.00 | 60.30 | 1.398 | 1.303 |
| 5 | 30 | 27.5 | 43.30 | 3.20 | 23.30 | 38.40 | 55.92 | 1.477 | 1.367 |
| 5 | 35 | 32.5 | 46.60 | 3.30 | 26.60 | 39.60 | 53.20 | 1.544 | 1.425 |
| 15 | 50 | 42.5 | 55.60 | 9.00 | 35.60 | 36.00 | 61.03 | 1.699 | 1.551 |
| 15 | 65 | 57.5 | 64.10 | 8.50 | 44.10 | 34.00 | 52.92 | 1.813 | 1.644 |
| 15 | 80 | 72.5 | 72.30 | 8.20 | 52.30 | 32.80 | 48.28 | 1.903 | 1.719 |
| 15 | 95 | 87.5 | 80.20 | 7.90 | 60.20 | 31.60 | 45.15 | 1.978 | 1.780 |
| 20 | 115 | 105.0 | 89.30 | 9.10 | 69.30 | 27.30 | 43.77 | 2.061 | 1.841 |
| 20 | 135 | 125.0 | 98.30 | 9.00 | 78.30 | 27.00 | 40.85 | 2.130 | 1.894 |
| 20 | 155 | 145.0 | 106.90 | 8.60 | 86.90 | 25.80 | 38.62 | 2.190 | 1.939 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 1.61 n = -0.21
a = 0.79 T = 0.35
k = 76.54 IB = 26.66238706

| t (") | cm | IB cm/hr |
|-------|------|----------|
| 1 | 76.5 | 26.66 |
| 10 | 47.2 | 26.66 |
| 30 | 37.5 | 26.66 |
| 60 | 32.4 | 26.66 |
| 90 | 29.8 | 26.66 |
| 120 | 28 | 26.66 |
| 150 | 26.7 | 26.66 |
| 160 | 26.4 | 26.66 |
| 200 | 25.2 | 26.66 |
| 300 | 23.1 | 26.66 |
| 400 | 21.8 | 26.66 |
| 500 | 20.8 | 26.66 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 22 | 30 | 0 | 60 | 60 | 17 | 1 | 130.00 |
| prueba 2 | 5 | 9 | 0 | 95 | 88 | 2 | 0 | 181.00 |
| prueba 3 | 0 | 1 | 0 | 100 | 100 | 0 | 0 | 199.00 |
| | | | | | | | promedio | 170 |

8.12. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L4F1SV.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 20.40 | 1.40 | 1.40 | 84.00 | 84.00 | 0.000 | 0.146 |
| 1 | 2 | 1.5 | 22.00 | 1.60 | 3.00 | 96.00 | 180.00 | 0.301 | 0.477 |
| 1 | 3 | 2.5 | 23.00 | 1.00 | 4.00 | 60.00 | 120.00 | 0.477 | 0.602 |
| 1 | 4 | 3.5 | 23.80 | 0.80 | 4.80 | 48.00 | 96.00 | 0.602 | 0.681 |
| 1 | 5 | 4.5 | 24.60 | 0.80 | 5.60 | 48.00 | 84.00 | 0.699 | 0.748 |
| 5 | 10 | 7.5 | 28.70 | 4.10 | 9.70 | 49.20 | 116.40 | 1.000 | 0.987 |
| 5 | 15 | 12.5 | 32.10 | 3.40 | 13.10 | 40.80 | 78.60 | 1.176 | 1.117 |
| 5 | 20 | 17.5 | 35.30 | 3.20 | 16.30 | 38.40 | 65.20 | 1.301 | 1.212 |
| 5 | 25 | 22.5 | 38.40 | 3.10 | 19.40 | 37.20 | 58.20 | 1.398 | 1.288 |
| 5 | 30 | 27.5 | 41.40 | 3.00 | 22.40 | 36.00 | 53.76 | 1.477 | 1.350 |
| 5 | 35 | 32.5 | 44.30 | 2.90 | 25.30 | 34.80 | 50.60 | 1.544 | 1.403 |
| 15 | 50 | 42.5 | 52.70 | 8.40 | 33.70 | 33.60 | 57.77 | 1.699 | 1.528 |
| 15 | 65 | 57.5 | 61.10 | 8.40 | 42.10 | 33.60 | 50.52 | 1.813 | 1.624 |
| 15 | 80 | 72.5 | 69.30 | 8.20 | 50.30 | 32.80 | 46.43 | 1.903 | 1.702 |
| 15 | 95 | 87.5 | 77.00 | 7.70 | 58.00 | 30.80 | 43.50 | 1.978 | 1.763 |
| 20 | 115 | 105.0 | 87.10 | 10.10 | 68.10 | 30.30 | 43.01 | 2.061 | 1.833 |
| 20 | 135 | 125.0 | 96.90 | 9.80 | 77.90 | 29.40 | 40.64 | 2.130 | 1.892 |
| 20 | 155 | 145.0 | 106.50 | 9.60 | 87.50 | 28.80 | 38.89 | 2.190 | 1.942 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 1.56 n = -0.21
a = 0.79 T = 0.35
k = 74.24 IB = 26.13292937

| t (') | cm | IB cm/hr |
|-------|------|----------|
| 1 | 74.2 | 26.13 |
| 10 | 46 | 26.13 |
| 30 | 36.6 | 26.13 |
| 60 | 31.7 | 26.13 |
| 90 | 29.1 | 26.13 |
| 120 | 27.4 | 26.13 |
| 150 | 26.2 | 26.13 |
| 160 | 25.8 | 26.13 |
| 200 | 24.6 | 26.13 |
| 300 | 22.7 | 26.13 |
| 400 | 21.3 | 26.13 |
| 500 | 20.4 | 26.13 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIEN PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arboreo | herbaceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 59 | 0 | 0 | 100 | 43 | 2 | 9 | 213.00 |
| prueba 2 | 26 | 6 | 4 | 100 | 39 | 1 | 12 | 168.00 |
| prueba 3 | 37 | 4 | 0 | 100 | 68 | 12 | 29 | 242.00 |
| | | | | | | | promedio | 207.67 |

8.13. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L6F1SV.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1 | 1 | 0.5 | 16.80 | 0.80 | 0.80 | 48.00 | 48.00 | 0.000 | -0.097 |
| 1 | 2 | 1.5 | 17.40 | 0.60 | 1.40 | 36.00 | 84.00 | 0.301 | 0.146 |
| 1 | 3 | 2.5 | 18.00 | 0.60 | 2.00 | 36.00 | 60.00 | 0.477 | 0.301 |
| 1 | 4 | 3.5 | 18.40 | 0.40 | 2.40 | 24.00 | 48.00 | 0.602 | 0.380 |
| 1 | 5 | 4.5 | 18.90 | 0.50 | 2.90 | 30.00 | 43.50 | 0.699 | 0.462 |
| 1 | 6 | 5.5 | 19.30 | 0.40 | 3.30 | 24.00 | 39.60 | 0.778 | 0.519 |
| 5 | 11 | 8.5 | 21.50 | 2.20 | 5.50 | 26.40 | 55.00 | 1.041 | 0.740 |
| 5 | 16 | 13.5 | 23.50 | 2.00 | 7.50 | 24.00 | 40.91 | 1.204 | 0.875 |
| 10 | 26 | 21.0 | 27.30 | 3.80 | 11.30 | 22.80 | 42.38 | 1.415 | 1.053 |
| 5 | 31 | 28.5 | 29.00 | 1.70 | 13.00 | 20.40 | 30.00 | 1.491 | 1.114 |
| 5 | 36 | 33.5 | 30.80 | 1.80 | 14.80 | 21.60 | 28.65 | 1.556 | 1.170 |
| 15 | 51 | 43.5 | 36.00 | 5.20 | 20.00 | 20.80 | 33.33 | 1.708 | 1.301 |
| 15 | 66 | 58.5 | 41.20 | 5.20 | 25.20 | 20.80 | 29.65 | 1.820 | 1.401 |
| 15 | 81 | 73.5 | 46.50 | 5.30 | 30.50 | 21.20 | 27.73 | 1.908 | 1.484 |
| 15 | 96 | 88.5 | 51.60 | 5.10 | 35.60 | 20.40 | 26.37 | 1.982 | 1.551 |
| 20 | 116 | 106.0 | 58.40 | 6.80 | 42.40 | 20.40 | 26.50 | 2.064 | 1.627 |
| 20 | 136 | 126.0 | 65.50 | 7.10 | 49.50 | 21.30 | 25.60 | 2.134 | 1.695 |
| 20 | 156 | 146.0 | 72.70 | 7.20 | 56.70 | 21.60 | 25.01 | 2.193 | 1.754 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 0.76 n = -0.16
a = 0.84 T = 0.46
k = 38.22 IB = 17.70329759

| t | cm | IB cm/hr |
|-----|------|----------|
| 1 | 38.2 | 17.70 |
| 10 | 26.5 | 17.70 |
| 30 | 22.2 | 17.70 |
| 60 | 19.9 | 17.70 |
| 90 | 18.6 | 17.70 |
| 120 | 17.8 | 17.70 |
| 150 | 17.2 | 17.70 |
| 160 | 17 | 17.70 |
| 200 | 16.4 | 17.70 |
| 300 | 15.4 | 17.70 |
| 400 | 14.7 | 17.70 |
| 500 | 14.2 | 17.70 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIENT PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 10 | 13 | 3 | 64 | 0 | 8 | 18 | 84.00 |
| prueba 2 | 15 | 26 | 2 | 64 | 19 | 18 | 20 | 108.00 |
| prueba 3 | 24 | 26 | 19 | 42 | 0 | 0 | 8 | 29.00 |
| | | | | | | | promedio | 73.667 |

8.14. Planilla para cálculo de infiltración del sitio L11F1ME.

| Intervalo (') | t (') | Promedio | Lámina (cm) | Intervalo | Acumulado | VI (cm/hr) | IM (cm/hr) | Log t | Log Acumulado |
|---------------|--------|----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------|
| 1.0 | 1.00 | 0.50 | 20.40 | 1.40 | 1.40 | 84.00 | 84.00 | 0.000 | 0.146 |
| 1.0 | 2.00 | 1.50 | 21.10 | 0.70 | 2.10 | 42.00 | 126.00 | 0.301 | 0.322 |
| 1.0 | 3.00 | 2.50 | 21.80 | 0.70 | 2.80 | 42.00 | 84.00 | 0.477 | 0.447 |
| 1.0 | 4.00 | 3.50 | 22.30 | 0.50 | 3.30 | 30.00 | 66.00 | 0.602 | 0.519 |
| 1.0 | 5.00 | 4.50 | 22.80 | 0.50 | 3.80 | 30.00 | 57.00 | 0.699 | 0.580 |
| 5.0 | 10.00 | 7.50 | 24.60 | 1.80 | 5.60 | 21.60 | 67.20 | 1.000 | 0.748 |
| 5.0 | 15.00 | 12.50 | 26.30 | 1.70 | 7.30 | 20.40 | 43.80 | 1.176 | 0.863 |
| 5.0 | 20.00 | 17.50 | 27.90 | 1.60 | 8.90 | 19.20 | 35.60 | 1.301 | 0.949 |
| 5.0 | 25.00 | 22.50 | 29.30 | 1.40 | 10.30 | 16.80 | 30.90 | 1.398 | 1.013 |
| 5.0 | 30.00 | 27.50 | 30.50 | 1.20 | 11.50 | 14.40 | 27.60 | 1.477 | 1.061 |
| 5.0 | 35.00 | 32.50 | 31.90 | 1.40 | 12.90 | 16.80 | 25.80 | 1.544 | 1.111 |
| 15.0 | 50.00 | 42.50 | 35.90 | 4.00 | 16.90 | 16.00 | 28.97 | 1.699 | 1.228 |
| 15.0 | 65.00 | 57.50 | 40.40 | 4.50 | 21.40 | 18.00 | 25.68 | 1.813 | 1.330 |
| 15.0 | 80.00 | 72.50 | 44.60 | 4.20 | 25.60 | 16.80 | 23.63 | 1.903 | 1.408 |
| 15.0 | 95.00 | 87.50 | 49.10 | 4.50 | 30.10 | 18.00 | 22.58 | 1.978 | 1.479 |
| 21.4 | 116.37 | 105.68 | 55.30 | 6.20 | 36.30 | 17.41 | 22.93 | 2.066 | 1.560 |
| 20.0 | 136.37 | 126.37 | 61.20 | 5.90 | 42.20 | 17.70 | 21.76 | 2.135 | 1.625 |
| 20.0 | 156.37 | 146.37 | 67.30 | 6.10 | 48.30 | 18.30 | 21.25 | 2.194 | 1.684 |

Valores de coeficientes para cálculo de infiltración básica

C = 1.23 n = -0.31
a = 0.69 T = 0.19
k = 51.16 IB = 9.881069122

| t (') | cm | IB cm/hr |
|-------|--------|----------|
| 1 | 51.165 | 9.88 |
| 10 | 25.158 | 9.88 |
| 30 | 17.93 | 9.88 |
| 60 | 14.48 | 9.88 |
| 90 | 12.779 | 9.88 |
| 120 | 11.694 | 9.88 |
| 150 | 10.917 | 9.88 |
| 160 | 10.702 | 9.88 |
| 200 | 9.9904 | 9.88 |
| 300 | 8.8165 | 9.88 |
| 400 | 8.0682 | 9.88 |
| 500 | 7.5319 | 9.88 |

CALCULO DE COBERTURA METODO DE LOS CIENT PASOS

| | pasto | suelo | piedra | mantillo | arbóreo | herbáceas | arbustivo | Σ |
|----------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| prueba 1 | 52 | 3 | 0 | 100 | 55 | 2 | 0 | 206.00 |
| prueba 2 | 28 | 5 | 8 | 79 | 42 | 41 | 0 | 177.00 |
| prueba 3 | 90 | 14 | 0 | 81 | 60 | 0 | 0 | 217.00 |
| | | | | | | | promedio | 200 |