

“EVALUACIÓN TEMPORAL DEL FLUJO DE ENTRADA DE AMONIO (NH_4^+), AMONÍACO (NH_3) Y NITRATO (NO_3^-) POR PRECIPITACIÓN, TRASCOLACIÓN Y ESCORRENTÍA CORTICAL EN UN BOSQUE ASOCIADO A UN HUMEDAL. HACIENDA ‘EL MANZANAR’, MUNICIPIO DE POPAYÁN”

MARTHA LUCÍA BURBANO GARCÉS

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INSTITUTO DE POSGRADOS
POPAYÁN
2007

“EVALUACIÓN TEMPORAL DEL FLUJO DE ENTRADA DE AMONIO (NH_4^+), AMONIACO (NH_3) Y NITRATO (NO_3^-) POR PRECIPITACIÓN, TRASCOLACIÓN Y ESCORRENTÍA CORTICAL EN UN BOSQUE ASOCIADO A UN HUMEDAL. HACIENDA ‘EL MANZANAR’, MUNICIPIO DE POPAYÁN”

MARTHA LUCÍA BURBANO GARCÉS

Trabajo de Grado para optar el título de
Magíster en Recursos Hidrobiológicos Continentales

Director
APOLINAR FIGUEROA CASAS
Ph. D. en Ciencias Biológicas

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INSTITUTO DE POSGRADOS
POPAYÁN
2007**

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, 24 de mayo de 2007.

Este trabajo lo quiero dedicar muy especialmente a mi padre, quien fue mi auxiliar de campo y mi mano derecha, condescendiente en todos mis caprichos para que todo resultara lo mejor posible. Mi viejo, la mitad de los méritos son tuyos.

Este trabajo también lo dedico:

A mi Dios y a mi Madre del Cielo, porque caminan conmigo, demostrando su inmenso amor por mí. Todo esto viene de ustedes.

A mis amados padres y a hermano, de quienes he aprendido que los más grandes esfuerzos traen consigo las más grandes satisfacciones. Mis viejos, su invaluable apoyo y acompañamiento han sido mi fortaleza y mis ganas de seguir adelante para no desfallecer cuando desesperaba.

A mi esposo, porque te apareciste en mi camino para quedarte, con tu amor y paciencia constantes contribuiste a animarme y a perseverar.

Al profesor Apolinar Figueroa Casas, director de este trabajo, porque sus esfuerzos y anhelo por ver salir adelante a sus pupilos está comenzando a dar resultado y su legado debe perdurar en nosotros.

A mis compañeros y profesores de la Maestría, su calidad humana y profesional, fuera de facilitarnos el aprendizaje, nos convirtió en una familia que todos los días se reunía a conocer una gota más del inmenso mar del conocimiento.

A mis amigos tan queridos: Luisa Fernanda, Fernando, Sandrita, Paola y Lorena, su ayuda incondicional me han hecho crecer como persona y como profesional, y convencerme que la fuerza de la amistad vence toda adversidad.

A la Vicerrectoría de Investigaciones por concederme la beca para cursar la Maestría y financiar este trabajo de investigación..

A todos los profesores, compañeros del Grupo de Estudios Ambiental y demás personas que de una u otra manera contribuyeron al desarrollo y culminación de

esta investigación, en especial al Doctor Rafael Vivas, quien tan generosamente concedió el permiso para trabajar en su propiedad.

A todos los investigadores del tema, a quienes he podido conocer a través de sus escritos y de quienes he aprendido inmensamente, sobre todo a autocriticarme y a exigirme más como investigadora.

A quienes ya no están físicamente y que desde el cielo han intercedido por mí.

AGRADECIMIENTOS

Desde su concepción hasta su finalización, este trabajo de grado ha requerido el apoyo de varias personas, tal vez, no tenga memoria para agradecerles a todos, pero haré el esfuerzo:

Quiero agradecer en primer lugar a la Vicerrectoría de Investigaciones a través de su Programa de Apoyo a Maestrías y Doctorados por financiar este trabajo de investigación como parte del Proyecto "*Evaluación y modelación de un ecosistema acuático epicontinental (humedal) para procesos de gestión y ordenamiento ambiental del recurso de agua, suelo biota, en términos de su uso y sostenibilidad*". La concesión de la beca para cursar la Maestría fue el inicio de este satisfactorio proceso. Agradezco muy especialmente al profesor Apolinar Figueroa Casas, quien gestionó la consecución de los recursos para poder llevar a feliz término esta investigación.

Agradezco a todos los profesores que intervinieron con sus conocimientos para enriquecer este trabajo y que contribuyeron a mi formación profesional:

En la comprensión de la parte conceptual y aplicada de los flujos de los nutrientes agradezco inmensamente al Ph. D., Apolinar Figueroa Casas, director de esta investigación, por ser él quien me internó en el estudio de estos procesos desde el pregrado en Biología; agradezco al Msc. Antonio Valverde, por sus aportes en cuanto al procesos metodológico y análisis de los datos, sus estudios realizados fueron de gran apoyo para ello; agradezco los aportes y asesorías de los profesores Edier Humberto Pérez, Guillermo Vásquez, Fabio Cabezas; Sandra Morales y Bernardo Ramírez. El procesamiento y análisis estadístico no hubiese sido igual sin la paciente asesoría de los profesores Edwin Rengifo y Yilton Riascos Forero, me llevaron a entregar mucho más de mi capacidad de concentración y memoria para retener y comprender tantos enlaces entre los datos y a ser cautelosa frente a los resultados inesperados. Igualmente agradezco a todos los profesores que llegaron a ser mis profesores durante el curso de la Maestría, espero no defraudarlos jamás.

Quiero agradecer al señor Rafael Vivas, quien con tanta generosidad concedió el permiso para trabajar en la Hacienda El Manzanar, su constante preocupación por

facilitar el trabajo y garantizar la seguridad de los colectores es incalculable para mí.

Agradezco a Luisa Fernanda Burbano y a Fernando Muñoz (“el monito”), es muy fácil trabajar cuando existe una amistad sólida de por medio 😊. Las salidas con ustedes a campo son inolvidables, disfrutamos mucho durante el muestreo de las macrófitas acuáticas. Fernando, tu colaboración con el modelo digital, te merecen mis más sinceros agradecimientos y mi reconocimiento. Saben que tienen mi amistad por siempre.

Agradezco a Lorena Alvear, a Eduar Muñoz y Bernardo Ramírez, por su colaboración en la identificación de las muestras vegetales colectadas.

Agradezco al profesor Jorge González por su confianza y diligencia para el préstamo del molinete durante todo el periodo de vacacional.

Extiendo mis agradecimientos a todos y cada uno de los integrantes del Grupo de Estudios Ambientales, especialmente a quienes están iniciando su proceso de investigación formativa, espero que en este trabajo encuentren pretextos para comenzar a indagarse y buscar respuestas.

Finalmente quiero agradecer a mi amada familia, por haberme respaldado con tanto amor y paciencia, subí otro de los escalones que tanto anhelaba ascender. Mi viejo querido, valió la pena las veces que trabajamos en medio de la lluvia y el frío o del intenso calor, a merced de los zancudos. Mamita, tus oraciones se unieron a las de quienes ya no están para que todo saliera bien. Hermanito, gracias por tus palabras de aliento. Wilson, mi amado esposo, por comprender en carne propia mi amor por este trabajo y mi perfeccionismo. Gracias a todos ustedes, mi familia, por darme tanto ánimo y agotarse igual que yo. Y también agradezco a mi adorable Eritos, por ser mi compañerito durante las largas noches en las que buscaba explicación a los resultados, de verdad que el perro es el mejor amigo del hombre. 😊

Dios mío, todos estos agradecimientos lleguen a Ti, por darme la oportunidad de superarme, colocar en mi camino a las personas indicadas y darme las herramientas para poder surgir.

Gracias, gracias, gracias...😊

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1 JUSTIFICACIÓN	25
2 OBJETIVOS	27
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3 . MARCO CONCEPTUAL.....	28
3.1 ENTRADA ATMOSFÉRICA DE NUTRIENTES A UN HUMEDAL Y SUS ASOCIACIONES BOSCOSAS.....	28
3.2 BIOGEOQUÍMICA DE UN HUMEDAL.....	31
3.3 EL NITRÓGENO COMO NUTRIENTE LIMITANTE EN LOS HUMEDALES.....	34
4 AREA DE ESTUDIO	37
4.1 LOCALIZACIÓN	37
4.2. SUELOS	41
4.3. USO ACTUAL DEL SUELO	41

4.4.	PRECIPITACIÓN.....	42
4.5.	OTRAS VARIABLES CLIMÁTICAS.....	43
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	45
5.1.	DETERMINACIÓN DEL ÁREA DEL BOSQUE Y DEL HUMEDAL.....	45
5.2.	SELECCIÓN DE COLECTORES.....	45
5.3.	UBICACIÓN DE COLECTORES.....	45
5.4.	PERIODICIDAD DE MUESTREO Y TOMA DE MUESTRAS.....	47
5.5.	VOLUMEN DE CAPTACIÓN.....	48
5.6.	PRECIPITACIÓN TOTAL (P).....	49
5.7.	TRASCOLACIÓN (T).....	50
5.8.	ESCORRENTÍA CORTICAL (EC).....	52
5.9.	MORFOLOGÍA ARBÓREA Y EPIFITISMO ARBÓREO	54
5.9.1.	Determinación del Diámetro a la Altura del pecho (DAP)	54
5.9.2.	Determinación de la Altura del Árbol (AA).....	54
5.9.3.	Área de Proyección de la Copa (APC).....	55
5.9.4.	Abundancia de Epífitas	56
5.10.	MACRÓFITAS ACUÁTICAS.....	57

5.11.	ANÁLISIS DEL SUELO	58
5.12.	ANÁLISIS DE AGUAS	58
5.13.	CAUDAL	59
5.14.	ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	60
5.15.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA	61
5.15.1.	ANOVA de un factor	61
5.15. 2.	Análisis de Correlaciones.....	62
5.16.	CÁLCULO DE FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA PRECIPITACIÓN, TRASCOLACIÓN Y ESCORRENTÍA CORTICAL	63
5.16.1	Flujo de los compuestos de nitrógeno en cada proceso	63
5.16.2	Precipitación neta del agua y los compuestos de nitrógeno a través del dosel del bosque.....	64
5.16.3	Flujo neto de los compuestos de nitrógeno.....	65
5.16.4.	Tasa de depositación de los compuestos de nitrógeno	65
6.	RESULTADOS	67
6.1.	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	67
6.1.1.	Vegetación	67
6.1.2.	Suelo	70

6.1.3. Agua superficial	71
6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO EN LA PRECIPITACIÓN (<i>P</i>), TRASCOLACIÓN (<i>T</i>) Y ESCORRENTÍA CORTICAL (<i>EC</i>).....	72
6.2.1. Amonio (NH_4^+)	72
6.2.2. Amoníaco (NH_3).....	75
6.2.3. Nitrato (NO_3^-).....	77
6.3. FLUJOS DEL AGUA DE PRECIPITACIÓN (<i>P</i>), TRASCOLACIÓN (<i>T</i>) y ESCORRENTÍA CORTICAL (<i>EC</i>).....	79
6.3.1. Validación de los datos de volumen.....	79
6.3.2. Distribución de los flujos del agua de <i>P</i> , <i>T</i> y <i>EC</i>	81
6.4. FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA <i>P</i> , <i>T</i> y <i>EC</i>	85
6.4.1. Flujo del amonio (NH_4^+)	85
6.4.2. Flujo del amoníaco (NH_3).....	87
6.4.3. Flujo del nitrato (NO_3^-)	88
6.4.4. Flujos promedio totales	89
6.4.5. Precipitación neta, flujos netos y tasas de depositación	94
7. DISCUSIÓN.....	99

7.1.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO EN LA PRECIPITACIÓN (<i>P</i>), TRASCOLACIÓN (<i>T</i>) Y ESCORRENTÍA CORTICAL (<i>EC</i>).....	99
7.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA <i>P</i> , <i>T</i> y <i>EC</i>	105
7.3.	COMPARACIONES ESPACIALES DE LOS FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA <i>P</i> , <i>T</i> y <i>EC</i>	108
8.	CONCLUSIONES.....	112
9.	RECOMENDACIONES.....	114
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	116

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales componentes de la cantidad hidrológica de un humedal.....	34
Tabla 2. Especies arbóreas seleccionadas para la instalación de los colectores de Trasculación y Escorrentía Cortical	47
Tabla 3. Clasificación cualitativa de la abundancia de epífitas	56
Tabla 4. Rangos para la valoración cuantitativa de la abundancia de epífitas.....	57
Tabla 5. Parámetros y Métodos de Análisis.....	61
Tabla 6. Vegetación acuática del humedal: zona colmatada y espejo de agua.....	67
Tabla 7. Vegetación epifítica y arbustiva del bosque asociado al Humedal hacienda “El Manzanar”	68
Tabla 8. Características Morfológicas y epifitismo de los árboles muestreados. a) Resultados generales, b) promedios para trasculación y escorrentía cortical	69
Tabla 9. Análisis del suelo del área de estudio	70
Tabla 10. Análisis del agua del espejo lagunar y canal de desagüe del humedal .	71
Tabla 11. Muestras válidas e invalidadas para el cálculo de la cantidad de agua incidente por P , T y EC	80
Tabla 12. Flujos de agua de P , T y EC y sus respectivas relaciones.....	82
Tabla 13. Relaciones entre los flujos de P , T y EC (mm).....	83
Tabla 14. Resumen de los aportes de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) por EC y T a través del dosel.....	91

Tabla 15. Resumen de los aportes de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) y amoníaco (NH_3) por P	91
Tabla 16. Correlación de Spearman para los flujos netos Vs. volumen de precipitación.....	96
Tabla 17. Flujo mensual de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) en los procesos de P , T y EC en bosques tropicales de montaña ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$)	109

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación esquemática de los principales flujos de agua en un bosque lluvioso tropical de planicie.....	30
Figura 2. Componentes de un balance de masa en un humedal, incluyendo el ciclo del flujo de entradas, salidas e intrasistema.	33
Figura 3. Representación general de la cantidad de agua en un humedal	33
Figura 4. Transformaciones del nitrógeno en un humedal.....	35
Figura 5. Ubicación geográfica del Área de Estudio en el Municipio de Popayán.	37
Figura 6. Vista Panorámica del humedal	38
Figura 7. Sitios de salida de agua del humedal	39
Figura 8. Descarga del agua del humedal a la zanja de aguas residuales de la Cárcel San Isidro.	39
Figura 9. Bosque adyacente al humedal.....	40
Figura 10. Fotografía aérea del sitio de estudio y zonas aledaños	40
Figura 11. Distribución mensual de la precipitación en la subcuenca del río Palacé. Estación La Venta de Cajibío.....	43
Figura 12. Distribución mensual de la temperatura, humedad relativa y evapotranspiración en la subcuenca del río Palacé. Estación La venta de Cajibío.....	44
Figura 13. Ubicación de los colectores de precipitación, trascolación y escorrentía cortical	46

Figura 14. Colectores de Precipitación Total	50
Figura 15. Colectores instalados de trascolación.....	51
Figura 16. Colector de escorrentía cortical tipo espiral	52
Figura 17. Colectores instalados de escorrentía cortical	53
Figura 18. Determinación de la altura del árbol	55
Figura 19. Medición del área de la copa	56
Figura 20. Ubicación de los sitios donde se tomaron muestras de suelo	58
Figura 21. Sitios de toma de muestras de agua.....	59
Figura 22. Medición de caudal	59
Figura 23. Equipo de medición de parámetros físicos y químicos	60
Figura 24. Distribución de la concentración promedio del amonio (NH_4^+) (mg/L) durante los meses de muestreo, respecto al volumen de cada proceso (mm).	73
Figura 25. Distribución de la concentración promedio del amoníaco (NH_3) (mg/L) durante los meses de muestreo, respecto al volumen de cada proceso (mm).	75
Figura 26. Distribución de la concentración promedio del nitrato (NO_3^-) (mg/L) durante los meses de muestreo, respecto al volumen de cada proceso (mm).	77
Figura 27. Correlación entre los volúmenes totales medidos en campo y los volúmenes de las muestras para análisis físico y químico (mm)	80
Figura 28. Distribución de los flujos de <i>P</i> , <i>T</i> y <i>EC</i> , durante todos los meses de muestreo	81
Figura 29. Relación entre los flujos de agua de <i>P</i> , <i>T</i> y <i>EC</i> . a) Flujo de agua de <i>T</i> Vs. Flujo de agua de <i>P</i> ; b) Flujo de agua de <i>EC</i> Vs. Flujo de agua de <i>P</i> ; c) Flujo de agua de <i>EC</i> Vs. Flujo de agua de <i>T</i>	82
Figura 30. Precipitación neta y flujo neto mensual Vs. flujo de precipitación.....	83

Figura 31. Porcentaje de los flujos de trascolación y escorrentía cortical respecto a la precipitación	84
Figura 32. Flujo mensual del amonio (NH_4^+) ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$) en los procesos	85
Figura 33. Flujo mensual del amoníaco (NH_3) ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$) en los procesos.....	87
Figura 34. Flujo mensual del nitrato (NO_3^-) ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$) en los procesos de P, T y EC (mm)	88
Figura 35. Flujos promedio totales del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) por P, T y EC ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$).....	89
Figura 36. Flujos totales de NH_4^+ , NH_3 y NO_3^- por épocas de lluvias.	90
Figura 37. Flujo total de los compuestos de nitrógeno por épocas de lluvias	92
Figura 38. Flujo total de los compuestos de nitrógeno por procesos	92
Figura 39. Modelo aproximado de los flujos de entrada del nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), por procesos hidrológicos del dosel arbóreo hacia el humedal, hacienda El Manzanar.....	93
Figura 40. Precipitación neta, flujos netos y tasas de depositación de los compuestos de nitrógeno Vs. flujos de agua de P, T y EC.....	94
Figura 41. Flujo neto del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-).....	96
Figura 42. Tasas de depositación del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) por T y EC	98
Figura 43. Color aparente del agua de P, T y EC durante el periodo de muestreo	104

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1 . Promedio mensual de las concentraciones de los compuestos de nitrógeno y de otros parámetros en los procesos de <i>P, T Y EC</i>	126
Anexo 2. Promedio de las concentraciones de los compuestos de nitrógeno y de otros parámetros por época de lluvias en los procesos de <i>P, T Y EC</i>	127
Anexo 3. ANOVA de una vía para la concentración de los compuestos de nitrógeno y variables complementarias, agrupados por procesos hidrológicos (<i>P, T y EC</i>). Factor: meses de muestreo	128
Anexo 4. Pruebas <i>Post Hoc</i> para ANOVA. Concentración de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) y variables complementarias, agrupados procesos hidrológicos (<i>P, T y EC</i>). Factor: meses de muestreo.....	129
Anexo 5. ANOVA de una vía para la concentración de los compuestos de nitrógeno y variables complementarias, agrupados por épocas de lluvias y procesos hidrológicos (<i>P, T y EC</i>). Factor: meses de muestreo	130
Anexo 6. Pruebas <i>Post Hoc</i> para ANOVA. Concentración de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) y variables complementarias, agrupados épocas y procesos hidrológicos (<i>P, T y EC</i>). Factor: meses de muestreo	131
Anexo 7. ANOVA de una vía para los compuestos de nitrógeno y variables complementarias, agrupados por épocas de lluvias. Factor: procesos hidrológicos (<i>P, T y EC</i>).....	132
Anexo 8. . Pruebas <i>Post Hoc</i> para ANOVA. Concentración de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) y variables complementarias, agrupados épocas. Factor: procesos hidrológicos (<i>P, T y EC</i>)	133
Anexo 9. Distribución temporal de las variables complementarias, respecto al volumen de agua de cada proceso (mm).....	134
Anexo 10. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables en el proceso de Precipitación por época de lluvias.	135

Anexo 11. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables en el proceso de Trascolución por época de lluvias.	136
Anexo 12. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables en el proceso de Escorrentía Cortical, por época de lluvias.	137
Anexo 13. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables entre todos los procesos.	138
Anexo 14. Promedio mensual de los flujos de los compuestos de nitrógeno en los procesos de P, T y EC.	139
Anexo 15. Promedio de los flujos de los compuestos de nitrógeno por época de lluvias en los procesos de P, T Y EC.	140
Anexo 16. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno agrupados por procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo ..	141
Anexo 17. Pruebas <i>Post Hoc</i> para ANOVA. Flujos de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$), agrupados procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo	142
Anexo 18. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas de lluvias. Factor: procesos hidrológicos (P, T y EC).....	143
Anexo 19. Prueba <i>Post Hoc</i> para ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas de lluvias. Factor: procesos hidrológicos (P, T y EC)	144
Anexo 20. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: época.....	145
Anexo 21. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas y procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo	146
Anexo 22 Pruebas <i>Post Hoc</i> para ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas y procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo	147
Anexo 23. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en el agua de Precipitación por época de lluvias. (Sig.: 2 colas)	148

Anexo 24. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en el agua de Trascaión por época de lluvias. (Sig.: 2 colas)	149
Anexo 25. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en el agua de Escorrentía Cortical, por época de lluvias (sig.=2-colas)	150
Anexo 26. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en todos los procesos durante todo el periodo de muestreo.....	151
Anexo 27. Promedios mensuales de los flujos de: precipitación neta (PN), flujo neto (FN), tasa de depositación de trascolación Vs. precipitación (TDT), tasa de depositación de escorrentía cortical Vs. precipitación (TDEC).	152
Anexo 28. Datos no procesados estadísticamente de cada colector o muestra compuesta.	153
Anexo 29. Formato de registro en campo del volumen de captación.	156
Anexo 30. Formato de registro de los análisis en el laboratorio	157
Anexo 31. Formato de registro del DAP y altura del fuste	158
Anexo 32. Formato de registro de información para el cálculo de la altura del árbol.	159
Anexo 33. Formato para la captura de información para el cálculo del epifitismo	160
Anexo 34. Formato de registro para el cálculo del área de proyección de la copa arbórea	161
Anexo 35. Formato de registro: Levantamiento de vegetación	162
Anexo 36. Formato de registro de Georreferenciación	163
Anexo 37. Formato de registro de medición del caudal	164

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el flujo de entrada del nitrógeno como amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-), a través del dosel arbóreo de un bosque contiguo a un humedal, se midieron las concentraciones de dichos compuestos en la precipitación total a campo abierto, en la trascolación y escorrentía cortical en un bosque ubicado en la hacienda El Manzanar, corregimiento de Las Piedras, a 15 km al oriente del Municipio de Popayán, entre los $2^\circ 29' 01,1'' \text{ N}$ y $76^\circ 32' 49,8'' \text{ W}$, a una altitud de 1870 m.s.n.m. Además, se analizaron y contrastaron: volumen de captación, pH, conductividad, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad. El estudio se realizó en dos épocas climáticas contrastantes, entre los meses de julio de 2005 y enero de 2006.

Por épocas de lluvias, los mayores flujos de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), se concentraron en la época de lluvias abundantes, favorecidos por eventos de lluvias frecuentes y duraderos, pese a que la concentración de estos compuestos fue menor que en la época de lluvias escasas.

La escorrentía cortical fue el proceso que registró los mayores flujos promedios totales de amonio (NH_4^+) ($31 \text{ mg/m}^2/\text{mes}$), amoníaco (NH_3) ($0,092 \text{ mg/m}^2/\text{mes}$) y nitrato (NO_3^-) ($423,03 \text{ mg/m}^2/\text{mes}$) durante todo el periodo de muestreo. Estos resultados indican que el dosel arbóreo actúa como una barrera viva que retiene las emisiones de compuestos de nitrógeno producidas a partir del estiércol del ganado y de los suelos fertilizados.

Los altos flujos del nitrato (NO_3^-) pueden estar relacionados con emisiones producidas a partir de las actividades ganaderas y agrícolas, con la cercanía a la Cadena Volcánica de los Coconucos y al Océano Pacífico, entre otros. Estas posibles contribuciones sumadas la elevada precipitación pueden haber favorecido los flujos de nitrato por precipitación trascolación y escorrentía cortical.

Por precipitación neta se aportó al humedal, $436,6 \text{ mg/m}^2/\text{mes}$ de nitrato (NO_3^-), $55,3 \text{ mg/m}^2/\text{mes}$ de amonio (NH_4^+) y $0,2$ de amoníaco (NH_3). El flujo neto total de los compuestos en todos los casos fue positivo, lo cual supone que el depósito seco atrapado por el follaje y el tallo de los árboles, fue lavado constantemente. La escorrentía cortical registró las mayores tasas de depositación, y el nitrato (NO_3^-) registró el mayor promedio ($67,4$).

ABSTRACT

To evaluate the dynamics of input of nitrogen fluxes like ammonium (NH_4^+), ammonia (NH_3) and nitrate (NO_3^-), through arboreal canopy of a forest next to a wetland, the concentrations of these compounds in the bulk precipitation to opened field, and in the throughfall and stemflow were measure in a forest located in the Property "El Manzanar", Corregimiento Las Piedras, to 15 km to the east of the Municipality of Popayán, between $2^\circ 29' 01.1''$ ' $49.8''$ N and $76^\circ 32' W$, to an altitude of 1870 m.s.n.m. Moreover were analyzed and correlated: caught volume, pH, conductivity, total dissolved solids (TDS) and salinity. The study was made in two rain periods, from July 2005 through January 2006.

According to rain periods, the greater ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) fluxes, were concentrated in the high rainfall period, favored by frequent and lasting rain events, although the concentration of these compounds was minor in the low rainfall period.

The stemflow was the process that registered the highest averages total fluxes of ammonium (31 mg/m²/mes), ammoniac (0.092 mg/m²/mes) and nitrate (423.03 mg/m²/mes), during the period of sampling. These results indicate that the arboreal canopy acts like a natural barrier that retains the produced emissions of compound of nitrogen from the manure of the livestock and fertilized soils.

The high flows of nitrate (NO_3^-) can be related to emissions produced by livestock y agriculture, to the proximity to the Cadena Volcánica de los Conocunos and to the Pacific Ocean, among others. However, high precipitations can have favored the nitrate flux by precipitation, throughfall and stemflow.

By precipitation it was contributed to the wetland, 436.6 mg/m²/mes of nitrate (NO_3^-), 55.3 mg/m²/mes of ammonium (NH_4^+) and 0.2 of ammoniac (NH_3). Total the net flow of compounds in all the cases was positive, which supposes that the dry deposit caught by the foliage and the stem of the trees, was washed constantly. The stemflow registered the greater rates of depositación, and the nitrate (NO_3^-) registered the greater average (67,4).

INTRODUCCIÓN

La depositación atmosférica contribuye a la química de las plantas, los suelos, el agua superficial y al ciclo de los nutrientes en los ecosistemas (Draaijers *et al.*, 1998, citado por Staelens *et al.*, 2005). El dosel intercepta una fracción significativa de la depositación atmosférica por medio de la precipitación (Bryant, Bhat y Jacobs, 2005), cuya distribución temporal y espacial es modificada en los bosques tropicales antes de alcanzar el suelo (Chappell, Bidin y Tych, 2001).

El estudio de la precipitación bajo el dosel arbóreo resulta de gran importancia en las investigaciones de los ecosistemas boscosos (Thimonier, 1998), cobrando mayor relevancia cuando estos están asociados a ecosistemas hídricos altamente productivos y biodiversos como los humedales (Keddy, 2002), dado que permite evaluar el flujo de entrada de nutrientes en el eje vertical del humedal continuo, que corresponde al agua atmosférica, la cual contribuye a regular los procesos biogeoquímicos del humedal, en un continuo espacial y temporal (Euliss, *et al.*, 2004). En este sentido, la cobertura arbórea asociada a los humedales, actúa como una especie de buffer natural, entre este último y las áreas sujetas o susceptibles a la alteración antrópica, debido a que retienen por interceptación los nutrientes y contaminantes que entran por precipitación.

Los balances de nutrientes en los humedales dependen de las entradas por precipitación, escorrentía, fijación de nitrógeno y sus pérdidas debidas a sedimentación, desagües y desprendimiento de gases reducidos; los nutrientes y contaminantes son acumulados y transformados (Schlesinger, 2000). Mediante el estudio de la química de la precipitación, es posible detectar los cambios en los balances de nutrientes y contaminantes a nivel espacial y temporal (Keddy, 2002), debido a que cualquier reducción o aumento reciente en ellos permite determinar su origen natural o antrópico.

A través del dosel, la precipitación alcanza el suelo, se infiltra en él, pasa a la atmósfera a través por evapotranspiración o fluye sobre la superficie del suelo como escorrentía. Cuando esta se concentra lo suficiente, algunas veces

combinada con el flujo de agua del suelo en la cuenca canalizada, su contenido de minerales es diferente al de la precipitación original (Mitsch y Gosselink, 2000).

Las transformaciones que experimenta los flujos de entrada de nutrientes al humedal por precipitación, trascolación y escorrentía cortical, a través del eje vertical del humedal continuo, es precisamente lo que se pretendió evaluar en el presente proyecto de investigación, con el propósito de aportar una mejor comprensión del funcionamiento biogeoquímico de los humedales tropicales que están influenciados por aportaciones atmosféricas provenientes de fuentes marinas, volcánicas y como producto de actividades humanas, bajo una perspectiva conceptual del humedal como un continuo horizontal y vertical, interrelacionado con otros humedales locales y regionales mediante conexiones horizontales del subsuelo y verticales, como los patrones temporales de distribución y composición química de la precipitación.

Adicionalmente, se buscó generar una visión menos puntualizada encaminada hacia la focalización local y regional en cuanto al manejo de los humedales como ecosistemas interrelacionados y asociados a las cuencas, subcuencas y microcuencas, teniendo en cuenta que los procesos biogeoquímicos inherentes al funcionamiento de los humedales, ejercen un papel preponderante en la calidad final del agua que llega a los sistemas lóticos, de cuyas características va a depender la supervivencia de la biota acuática y la disponibilidad del recurso hídrico para los diversos usos de las comunidades humanas. De ahí, la importancia de conservarlos en conjunto con las asociaciones vegetales, particularmente boscosas, las cuales ejercen una función receptora y amortiguadora de la carga de nutrientes y contaminantes que entran por precipitación.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación, se seleccionaron y adaptaron a las condiciones tropicales, las mejores metodologías empleadas por expertos en la temática a nivel mundial como Thimonier (1998); Et. al. 2001); Et. al., 2004), Likens (et al, 1967; et. al., 1977), Alcock y Morton (1985), ICP (2004), Veneklaas (1990), entre otros.

1 JUSTIFICACIÓN

Euliss *et al.* (2004) plantearon que un humedal debe ser concebido como un ser inmerso en un continuo espacial y temporal que regula procesos críticos. Es así como idearon un modelo conceptual que evalúa como la interacción entre la entrada hidrológica y climática, determina las comunidades biológicas presentes en un humedal.

Este concepto es fundamental cuando se busca gestionar integralmente estos ecosistemas, porque permite visualizarlos como comunidades naturales dinámicas, que forman parte de un todo y no como sistemas aislados dentro de la gran complejidad ecosistémica. Los humedales forman parte de una cuenca, están interrelacionados con otros humedales que forman parte de esta, sea compartiendo una misma red de recarga hídrica de tipo subterráneo o mediante patrones locales y/o regionales de recarga por precipitación atmosférica.

La concepción bidimensional del ciclo de los nutrientes en un humedal a una escala espacio-temporal, bajo el concepto de humedal continuo, ha fundamentado esta propuesta de investigación, en la cual se evaluará la entrada del nitrógeno por precipitación atmosférica a través del dosel arbóreo asociado al humedal, mediante los procesos de precipitación a campo abierto, trascolación y escorrentía cortical.

Por otra parte, Likens *et al.* (1967), propone un modelo en el cual los compartimientos básicos dentro del ecosistema y los flujos que se interrelacionan están compuestos por la atmósfera, la litósfera, la hidrósfera, la energía solar y los organismos. En este sentido, la contextualización del humedal asociado a una cobertura vegetal boscosa, permite observar las interacciones e interdependencia existentes entre un humedal con otros ecosistemas circundantes exportadores e importadores de energía, en este caso, en forma de nutrientes por precipitación no interceptada por el dosel arbóreo.

La cobertura arbórea ejerce un importante efecto sobre la redistribución espacial de la precipitación en forma de trascolación y escorrentía cortical, generando una variación espacial por infiltración, que a su vez influye la variación espacial de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, incluyendo la mezcla del suelo, la pedogénesis, ciclo de nutrientes, crecimiento radicular, composición del suelo del

bosque, la química de la solución del suelo, del agua subterránea y la cuenca (Keima, Skaugsetb y Weilerc, 2005). Es así como la variabilidad espacial y temporal de la trascolación y la escorrentía cortical, son procesos importantes a evaluar, ya que estos ayudan a controlar la hidrología y la biogeoquímica de los humedales y la cuenca a la cual pertenecen.

Considerando los anteriores modelos conceptuales, nace la idea de estudiar el flujo de entrada del nitrógeno a través de la cobertura arbórea asociada al humedal de la hacienda El Manzanar, para de esta manera realizar un acercamiento y comprender el funcionamiento integrador de los humedales y su relación con las actividades humanas que lo afectan, que permitan idear estrategias que garanticen una verdadera conservación de estos ecosistemas. Adicionalmente, la trascendencia en el mantenimiento de los humedales esta íntimamente relacionada con actividades sociales básicas de la región, siendo prioritario su caracterización evaluación y modelado para así establecer procesos de gestión que posibiliten su conservación y utilización racional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la dinámica de entrada del nitrógeno como amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) por el dosel del bosque hacia el humedal adyacente por procesos de precipitación, trascolación y escorrentía cortical.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia de los procesos hidrológicos de precipitación, trascolación y escorrentía cortical sobre los flujos del nitrógeno del bosque hacia el humedal asociado.
- Determinar el comportamiento temporal de los flujos de nitrógeno del bosque hacia el humedal adyacente por precipitación, trascolación y escorrentía cortical.

3 . MARCO CONCEPTUAL

3.1 ENTRADA ATMOSFÉRICA DE NUTRIENTES A UN HUMEDAL Y SUS ASOCIACIONES BOSCOSAS

Aunque multidimensional, el humedal continuo es más fácilmente representado como un gradiente bidimensional, con agua subterránea y agua atmosférica que constituyen los ejes horizontal y vertical, respectivamente. El último eje, representa la dinámica del agua atmosférica causada por la variabilidad climática natural que determina la proporción entre la precipitación atmosférica y la evaporación (Euliss *et al.*, 2004).

El intercambio de masa y energía atmósfera-vegetación-suelo, esencialmente maneja el sistema y los procesos hidrológicos. Es así como, el tipo y distribución de la vegetación del humedal afecta los patrones de la precipitación, siendo los humedales boscosos más susceptibles, a los complejos patrones de entrada de lluvia (Price y Waddington, 2000) Es decir, que los balances de nutrientes, dependen de las condiciones hidrológicas, para asegurar el mantenimiento de la estructura y función del humedal (Mitsch y Gosselink, 2000). Los balances de nutrientes en estos ecosistemas dependen de sus entradas por precipitación, escorrentía y la fijación de N, mientras que las pérdidas de nutrientes son debidas a sedimentación, desagüe y desprendimiento de gases reducidos (Schlesinger, 2000). Estos balances permiten describir la función y determinar la importancia de los humedales como fuentes, sumideros y transformadores químicos (ver figura 1) (Mitsch y Gosselink, 2000).

La química de la precipitación que alcanza el suelo del bosque está influenciada por las características químicas e hidrológicas de la precipitación incidente, el lavado de aerosoles depositados sobre el dosel, el lavado de materiales exportados desde los tejidos foliares antes de cada evento y la absorción o liberación de sustancias por las plantas y su microflora asociada durante los eventos de lluvia (Staelens *et al.*, 2003).

El flujo de entrada de nutrientes desde las áreas boscosas, son un importante factor para la eutrofización de ríos y lagos, lo cual depende de los procesos hidrológicos y bioquímicos en las hojas de los árboles (Matsumoto *et al.*, 2003). El contenido de nutrientes en las hojas resulta afectado por la lluvia, que lixivia

nutrientes de la superficie de las hojas a menudo siguiendo el orden $K \gg P > N > Ca$ (Schlesinger, 2000). Dingman (1994), encontró que dependiendo del tipo de vegetación, las pérdidas por interceptación, pueden estar entre el 10 y 40% del total de precipitación incidente.

Schellekens (2000) plantea que en los bosques tropicales, la precipitación se da principalmente en forma de agua lluvia, la cual llega al suelo del bosque por tres tipos de vías (Ver figura 1), cuyo efecto en red de todas las interacciones entre el dosel y la precipitación, sirven para reducir las tasas deliberadas de las precipitaciones intensas y liberar la carga de agua en función del tiempo (Keimanda y Skaugset, 2003):

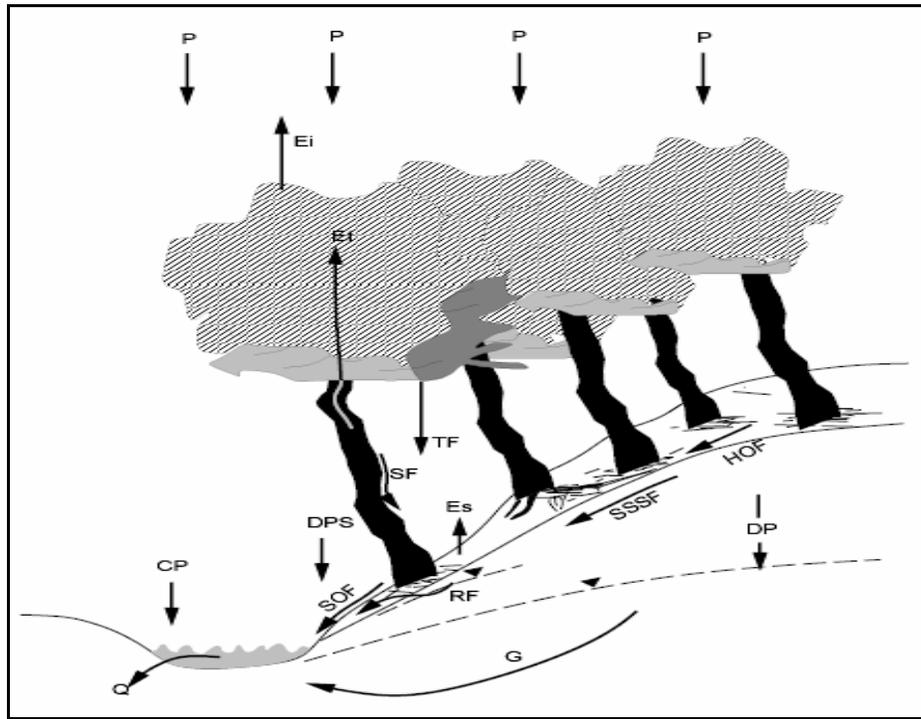
- ☼ Una fracción de agua-generalmente pequeña-, que fluye por el tronco del árbol o escorrentía cortical (SF), que en parte evapora hacia la atmósfera.

- ☼ otra pequeña fracción de agua que alcanza el suelo sin tocar las hojas o el tallo, conocida como trascolación (TF),

- ☼ y el resto del agua que golpea el dosel y continua como gotas de la copa (arbórea) por el follaje, debido a la evaporación durante y después del evento de lluvia.

Como no es posible distinguir en los estudios de campo, entre las gotas de la copa y la trascolación directa (dos últimos procesos referidos), estos son combinados y denominados conjuntamente como trascolación. La variabilidad especio-temporal de este proceso es potencialmente importante en el control de la hidrología y biogeoquímica de la cuenca (Zirlewagen y von Wilpert, 2001), y depende generalmente de la estructura y arquitectura del dosel (Keima, Skaugsetb y Weilerc, 2005).

Figura 1. Representación esquemática de los principales flujos de agua en un bosque lluvioso tropical de planicie¹.



Fuente: SCHLESINGER, WILLIAM. Biogeoquímica: un análisis del cambio global. España: Ariel, 2000, p. 237.

El agua de trascolación contiene nutrientes lixiviados de la superficie de las hojas (Schlesinger, 2000), y generalmente en mayor proporción que en la precipitación, sugiriendo un enriquecimiento por parte de la vegetación. Sin embargo, estas altas concentraciones también pueden ser debidas a la evaporación en el dosel (Stinner *et al.*, 1984). Los postulados de Swank y Reynolds (1987) plantean que la lixiviación del área foliar es el principal proceso que contribuye a la depositación de algunos iones bajo el dosel, particularmente durante la etapa de crecimiento de *Pinus strobus* L., lo cual implica una alta asimilación y transporte de nutrientes. Por su parte, Alcock y Morton (1985), encontraron diferencias en la concentración de los nutrientes en el agua de trascolación, dependiendo de la especie arbórea y de la estación climática.

¹ : Precipitación, TF: Trascolación, SF: Escorrentía cortical, Ei: Interceptación del agua de lluvia, Et: Transpiración, Es: Evaporación del suelo, CP: Precipitación en canal, DPS: Precipitación Directa en Áreas saturadas, HOF: Flujo Hortoniano del suelo, SSSF: Flujo de Tormenta Sub Superficial, RF: Flujo de Retorno, SOF: Flujo de Saturación del suelo, DP: Percolación profunda, G: Flujo de aguas subterráneas, Q: Descarga.

La otra vía de llegada de la precipitación al suelo del bosque es el proceso de escorrentía cortical, la cual presenta elevadas concentraciones de nutriente, sin embargo, llega más agua hasta el suelo por trascolación. La escorrentía cortical es significativa debido a que por medio de ella llegan soluciones altamente concentradas al suelo situado en la base de las plantas (Schlesinger, 2000), e incluso se ha considerado que la escorrentía cortical es un componente más efectivo que la trascolación, para recargar el agua subterránea (Durocher, 1990; Tanaka *et al.*, 1996, citados por Shin'ichi Iida, *et al.*, 2006).

3.2 BIOGEOQUÍMICA DE UN HUMEDAL

La disponibilidad de nutrientes por la escorrentía y el agua de la cuenca que entra a los humedales es debida a diversos factores Mitsch y Gosselink, 2000).

☼ Influencia del agua subterránea. Las características químicas de la cuenca y los ríos dependen del grado por el cual el agua previamente ha venido en contacto con las formaciones terrestres y los tipos de minerales presentes en dichas formaciones. La meteorización del suelo y de las rocas, por disolución y reacciones redox, aporta los principales iones disueltos a las aguas que entran al suelo.

☼ Clima. El clima influye la calidad del agua superficial debido al balance de precipitación y evapotranspiración. El clima tiene una influencia considerable sobre el tipo y extensión de la vegetación e indirectamente afecta las características físicas, químicas y biológicas de los suelos y el grado por el cual los suelos son erosionados y transportados a las aguas superficiales.

☼ Efectos geográficos. La cantidad de materiales disueltos y suspendidos que entran a la cuenca, al río y al humedal también dependen del tamaño de la línea de divisoria de aguas, la pendiente del paisaje, la textura del suelo y la variedad de la topografía. La presencia de humedales contracorriente también influyen la calidad del agua que entra a los humedales río abajo.

☼ Efectos del flujo de la cuenca/ecosistema. La calidad del agua de la escorrentía superficial, la cuenca y los ríos varían estacionalmente. Lo más común es que hay una inversa correlación entre el flujo de la cuenca y las concentraciones de los materiales disueltos. Durante los periodos húmedos y los eventos de lluvia, el agua es aportada principalmente por la precipitación

reciente que llega por el flujo del agua de la cuenca muy lentamente, sin llegar a estar en contacto con los minerales del suelo y subsuperficiales. Cuando hay flujos bajos, parte o mucha agua de la cuenca se origina del agua subterránea y tiene altas concentraciones de materiales disueltos.

☼ Efectos humanos. El agua que ha sido modificada por actividades humanas, con frecuencia alteran drásticamente la composición química de la cuenca y del agua subterránea que llega hasta los humedales. El drenaje urbano y suburbano es por lo general más bajo que el de las tierras de cultivo, pero puede contener altas concentraciones de trazas orgánicas, sustancias que demandan oxígeno y algunas toxinas.

Las condiciones de inundación y de sequía causadas por los patrones de variabilidad climática son responsables de la naturaleza cíclica de la productividad del humedal (Euliss *et al.*, 2004). El ciclo de nutrientes aumenta por las rápidas entradas hidrológicas y su disponibilidad cambia frecuentemente por las escasas condiciones en el sustrato del humedal (Schlesinger, 2000).

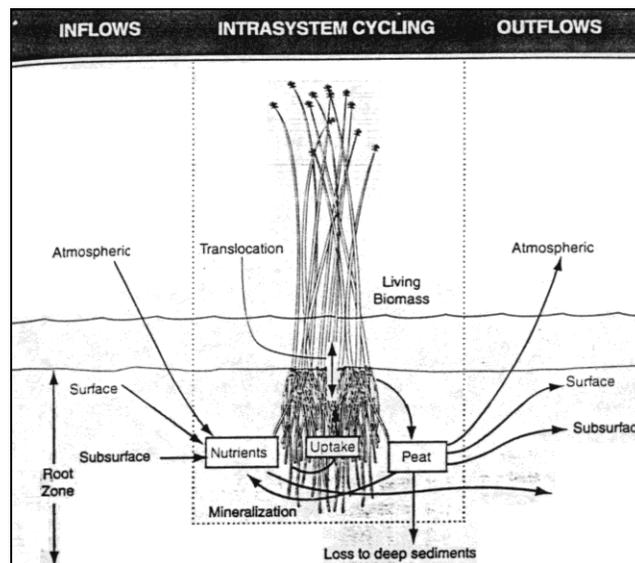
Considerando lo anterior, los principales componentes de la totalidad del agua del humedal incluye la precipitación, la evapotranspiración y el desbordamiento, el flujo superficial, los flujos de agua subterráneas, que determinan el balance entre la entrada y la salida del agua, basado en la geomorfología y las condiciones subsuperficiales, dando como resultado el hidroperiodo o estado hidrológico de un humedal, definido por los siguientes factores (Ver figura 1) (Mitsch y Gosselink, 2000):

- ☼ El balance entre la entrada y salida del agua

- ☼ El contorno superficial del paisaje

- ☼ Las condiciones del suelo, la geología y el agua subterránea.

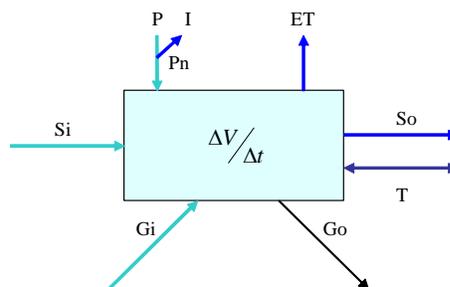
Figura 2. Componentes de un balance de masa en un humedal, incluyendo el ciclo del flujo de entradas, salidas e intrasistema.



Fuente: Mitsch, W. J. & J. G. GOSELINK. Wetlands. 3 ed. John Wiley & Sons. 2000. 920p

La primera condición define la cantidad del agua del humedal, mientras que la segunda y tercera define la capacidad del humedal para almacenar agua (Ver figura 2).

Figura 3. Representación general de la cantidad de agua en un humedal²



Fuente: Mitsch, W. J. & J. G. GOSELINK. Wetlands. 3 ed. John Wiley & Sons. 2000. 920p

² P =precipitación; ET =evapotranspiración; I =Interceptación; P_N =Precipitación neta; S_i =entrada de flujo superficial; S_o =salida de flujo superficial; G_i =entrada de agua subterránea; G_o =salida de agua subterránea; $\Delta V/\Delta t$ =cambio en el almacenamiento por unidad de tiempo; T =marea.

Los principales componentes hidrológicos de la cantidad de agua de un humedal son:

Tabla 1. Principales componentes de la cantidad hidrológica de un humedal

Componente	Características	Humedales Influenciados
Precipitación	Depende del clima, pues en varias regiones tienen distintas estaciones húmedas y secas.	Todos
Flujos de entrada y salida superficial	Estacionalmente, frecuentemente relacionado con patrones de precipitación. Puede ser canalizado como caudal o no canalizado como escorrentía. Incluye inundaciones de humedales aluviales.	Potencialmente todos los humedales, excepto las ciénagas. Los humedales riparianos, incluyendo los bosques arbóreos y otros humedales aluviales son particularmente afectados por la inundación de los ríos.
Agua subterránea	Menos estacional que los flujos de entrada superficial y no siempre está presente.	Potencialmente todos los humedales excepto las ciénagas ombrotropicos y otros humedales.
Evapotranspiración	Estacional con picos en verano y tasas en invierno. Dependiente de las condiciones meteorológicas, físicas y biológicas de los humedales.	Todos.
Mareas	Uno o dos periodos mareales por día. Varias frecuencias de inundación con elevación.	Mareas de aguas continentales y pantanos salados. Marismas de mangle.

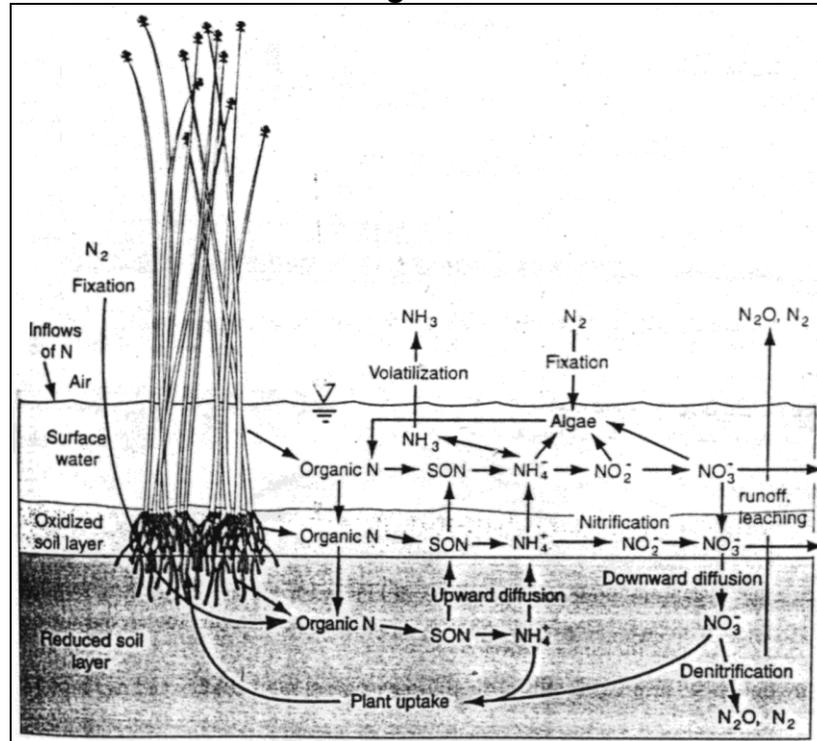
3.3 EL NITRÓGENO COMO NUTRIENTE LIMITANTE EN LOS HUMEDALES

El nitrógeno junto al fósforo, conforman los elementos limitantes de los ecosistemas de humedal, dependiendo de su posición en el paisaje, cuyas consideraciones se presentan a continuación:

El nitrógeno se presenta en los humedales en varios estados de oxidación (ver figura 3), algunos de los cuales son importantes en la biogeoquímica del humedal. El nitrógeno es por lo general, el nutriente más limitante en los suelos inundados, sin importar si estos suelos pertenecen a humedales naturales o agrícolas. Debido a las condiciones anóxicas en los humedales, la desnitrificación microbial de los nitratos (NO_3^-) a formas gaseosas de nitrógeno y su consiguiente liberación a la

atmósfera se considera una de las vías más significativas por la cual el nitrógeno es liberado de la litósfera y de la hidrosfera hacia la atmósfera. Los nitratos (NO_3^-) sirven como uno de los primeros aceptores de electrones terminales en los suelos de los humedales, después que desaparece el oxígeno, convirtiéndolo en un importante compuesto en la oxidación de la materia orgánica del humedal (Mitsch y Gosselink, 2000).

Figura 4. Transformaciones del nitrógeno en un humedal.

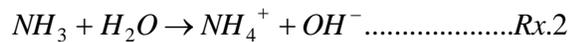
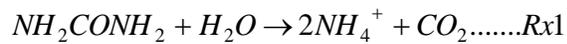


Fuente: MITSCH, W. J. & J. G. GOSELINK. Wetlands. 3 ed. John Wiley & Sons. 2000. 920p.

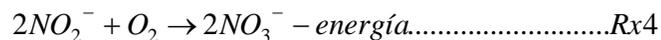
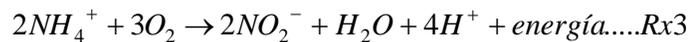
Se han reportado altos valores para nitrógeno y fósforo en los bosques aluviales, posiblemente a consecuencia de las fuentes fluviales, mientras que las fuentes de los nutrientes para bosques de alta montaña y pantanos de agua estancada puede deberse a entradas atmosféricas y por meteorización (Brinson *et al.*, 1980). Adicionalmente, se ha encontrado que el nitrógeno limita el crecimiento de la vegetación de tundra (Shaver *et al.*, 1986) y que las bajas temperaturas limitan su mineralización (Marion y Black, 1987).

Mitsch y Gosselink (2000), señalan que debido a que los humanos han aumentado la cantidad de nitrógeno que entra al ciclo por medio de fertilizantes, el uso

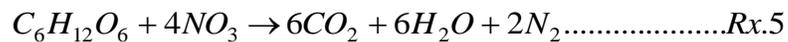
incrementado de plantas fijadoras de nitrógeno y la quema de combustible fósil, la capacidad de los humedales para servir de sumideros de nitrógeno, está siendo ampliamente investigada. Las transformaciones del nitrógeno en los humedales abarca diversos procesos microbiológicos, algunos de los cuales disminuyen la disponibilidad de nutrientes que asimilan las plantas. El ión amonio (NH_4^+) con el estado de oxidación del nitrógeno de -3, es la primera forma de mineralización del nitrógeno en muchos suelos de humedales de inundación, aunque gran cantidad de nitrógeno puede estar representado en formas orgánicas en suelos altamente orgánicos. La presencia de una zona de oxidación sobre la zona anaeróbica o reducida es crítica para diversos humedales. Este proceso de la mineralización, es conocido como amonificación (Rx.1 y Rx.2).



Una vez que el amonio (NH_4^+) es formado puede ser absorbido por las plantas a través del sistema radicular o por microorganismos anaeróbicos y convertidos a materia orgánica. En ambientes aeróbicos, el nitrógeno amonio (NH_4^+) puede ser oxidado a través de los procesos de nitrificación en dos etapas por el *Nitrosomas sp.*:



La nitrificación puede ocurrir en la rizósfera oxidada de las plantas donde el oxígeno adecuado está frecuentemente dispuesto a convertir el nitrógeno amonio (NH_4^+) a nitrógeno nitrato (NO_3^-) (Rx.5).

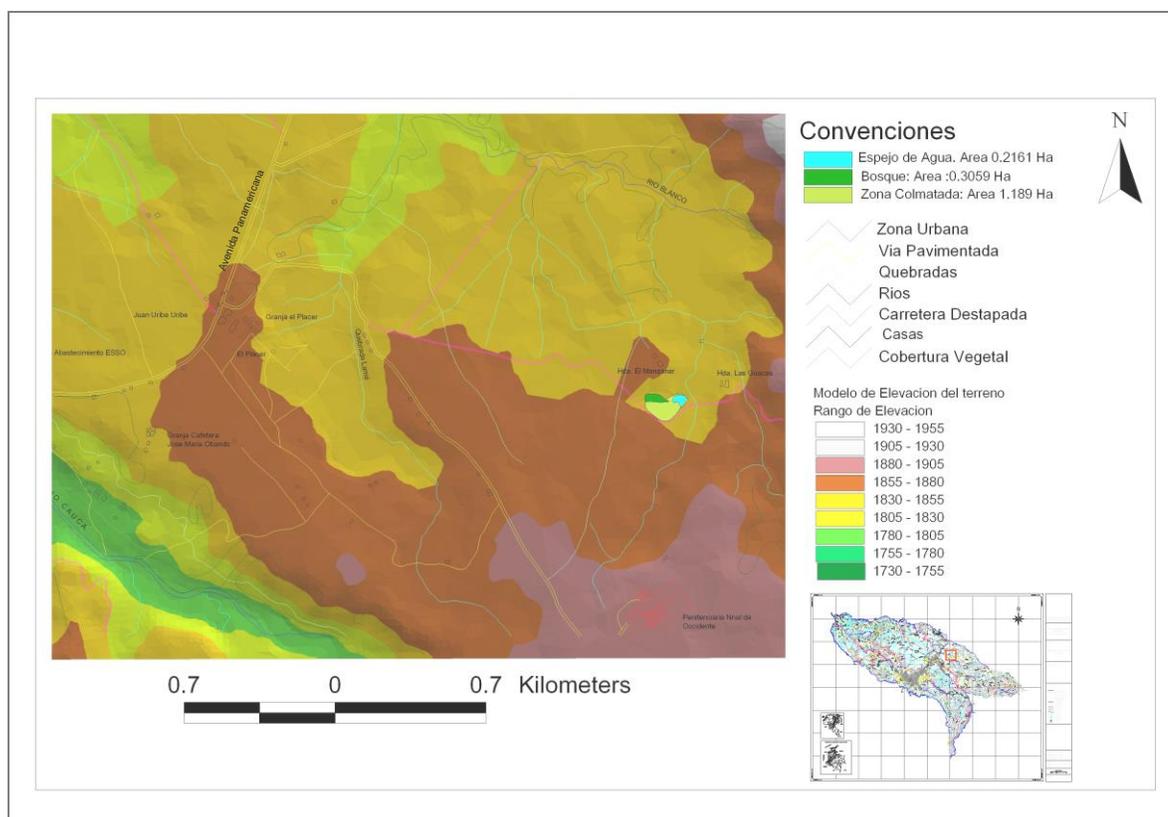


4 AREA DE ESTUDIO

4.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en la hacienda El Manzanar, la cual pertenece al corregimiento de Las Piedras al oriente del Municipio de Popayán, y a 15 Km de la ciudad de Popayán (ver figura 5). Geográficamente se encuentra entre los 2° 29' 01,1" N y 76° 32' 49,8" W, a una altitud de 1870 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Esta hacienda es propiedad privada del señor Rafael Eduardo Vivas.

Figura 5. Ubicación geográfica del Área de Estudio en el Municipio de Popayán.



Fuente: Cartografía Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Generación del Modelo de Elevación del Terreno: Fernando Andrés Muñoz Gómez. Digitalización plancha cartográfica 342-IV-D-2: Luisa Fernanda Burbano y Martha Lucía Burbano Garcés.

Este sector forma parte del bosque húmedo Premontano (bh-PM) y bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM), según Holdridge (1987).

El humedal de la hacienda El Manzanar, se encuentra ubicado dentro de la microcuenca Río Blanco, que a su vez forma parte de la Subcuenca Río Palacé perteneciente a la Cuenca Cauca II.

Es un humedal seminatural, de tipo dulceacuícola, con presencia de espejo lagunar permanente (lacustre seminatural), lo cual le confiere importancia como reservorio de agua. Su origen se debe a represamiento de cauce (Artunduaga, 2007).

El humedal consta de un zona colmatada y otra de espejo de agua, cuyas áreas aproximadas son 1.189 Ha y 0,2161 Ha, respectivamente (ver figura 6).

Figura 6. Vista Panorámica del humedal



Fuente fotográfica: Burbano Garcés, M. L., 2006. Copyright.

Presenta dos sitios de salida del agua: uno frente al espejo de agua y otro en la margen derecha, a aproximadamente 200 metros del espejo lagunar. La primera descarga de agua, forma un pequeño canal al cual se une la segunda salida, a unos 10 metros aguas abajo (ver figura 7).

Figura 7. Sitios de salida de agua del humedal

Salida
de
agua
No. 1



Salida
de
agua
No. 2



Fuente fotográfica: Burbano Garcés, M. L., 2007. Copyright.

El canal formado presenta un caudal de 1 L/s, el cual aporta a una zanja de aguas residuales proveniente de la Cárcel San Isidro (ver figura 8), que desemboca en el Río Blanco, que a su vez tributa al río Palacé.

Figura 8. Descarga del agua del humedal a la zanja de aguas residuales de la Cárcel San Isidro.



Fuente fotográfica: Burbano Garcés, M. L., 2007. Copyright.

El área circundante al humedal está conformada por un bosque relictual subandino (ver figura 9), en etapa sucesional avanzada, cuya área aproximada es de 0,3059 Ha.

Figura 9. Bosque adyacente al humedal



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2006. Copyright.

Alrededor del humedal, también existen extensas áreas de pastizales donde se practica la ganadería extensiva (ver figura 10). El acceso de este hacia el humedal y el bosque ha sido restringido mediante cercas con alambre de púa y alambres cargados con energía, para garantizar su conservación como parte de los objetivos del propietario de la hacienda. Dentro de las actividades agrícolas sobresale el cultivo de tomate.

Figura 10. Fotografía aérea del sitio de estudio y zonas aledañas



Fuente: Fotografía Aérea No. 000179 C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

4.2. SUELOS

Los suelos de la hacienda El Manzanar forman parte de la Asociación Dominguito–Timbío (DI) (C.R.C., 2002). La Asociación corresponde al sistema de colinas del Altiplano de Popayán, caracterizado por estar integrado por los materiales propios de la formación Popayán.

El relieve que conforma esta asociación es fuertemente ondulado a fuertemente quebrado con cimas redondeadas y pendientes cortas, rectas a ligeramente convexas; pendientes 7-12-25-50% y aún mayores; en algunos casos se presentan áreas ligeramente planas. En general, son suelos profundos a muy profundos, que tienen buen drenaje natural (C.R.C., 2002).

El material parental está constituido por cenizas volcánicas, que se depositaron en capas de espesores variables entre 1 y 8 m. Los procesos erosivos principalmente son de tipo laminar, surcos, cárcavas aisladas y reptación (pata de vaca), en grado ligero o moderado. Hay pequeños sectores severamente erodados (C.R.C., 2002).

La Asociación presenta límites, difuso con las asociaciones Dominguito (DT), Seguengue (SG) y Pubenza (PB); gradua a claro con Limón (LM), puente (PH) y Perolinde (PX); claro a abrupto con la unidad de Fosa del Patía.

La unidad está compuesta por los conjuntos Dominguito (Typic Dystrandept) 30%, Timbio (Andic Humitropept) 30%, Tambo (Typic Dystropept) 20% y Rejoya (Entic Dystrandept) 20%.

4.3. USO ACTUAL DEL SUELO

Los suelos de la Asociación Dominguito – Timbío (DI), son utilizados principalmente en ganadería con pastoreo y pastos naturales como grama y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (C.R.C., 2002). En pequeñas áreas hay lotes con pastos mejorados, tanto de pastoreo como de corte, entre ellos el imperial (*Axonopus escoparius*), guinea (*Panicum maximum*), gordura (*Melinis minutiflora*) y pangola (*Digitaria decumbens*).

Con relación al sitio de estudio, se tiene que el suelo de la hacienda El Manzanar es dedicado exclusivamente a la ganadería y la agricultura.

La vegetación natural de esta asociación, en su mayor está destruida y sólo se observan restos de bosques secundarios en las partes cóncavas intercolinadas, con especies de cucharo colorado (*Myrsine sp*), salvia (*Salvia officinalis*), arrayán (*Myrcianthes sp*) y helechos.

4.4. PRECIPITACIÓN

EL humedal de la hacienda El Manzanar, se ubica sobre la meseta de Popayán. De acuerdo a los registros históricos de la estación meteorológica del Aeropuerto Guillermo León Valencia, presenta un patrón de lluvias bimodal, de variación trimestral. El período con mayor concentración de lluvias se inicia en octubre y concluye en diciembre, con una precipitación de 651.5 mm que equivalen al 41.20% del total anual de la precipitación. El mes con mayor pluviosidad es octubre con 273.6 mm que equivale al 17.30% (Vivas, D. T. y E. Muñoz, 1999).

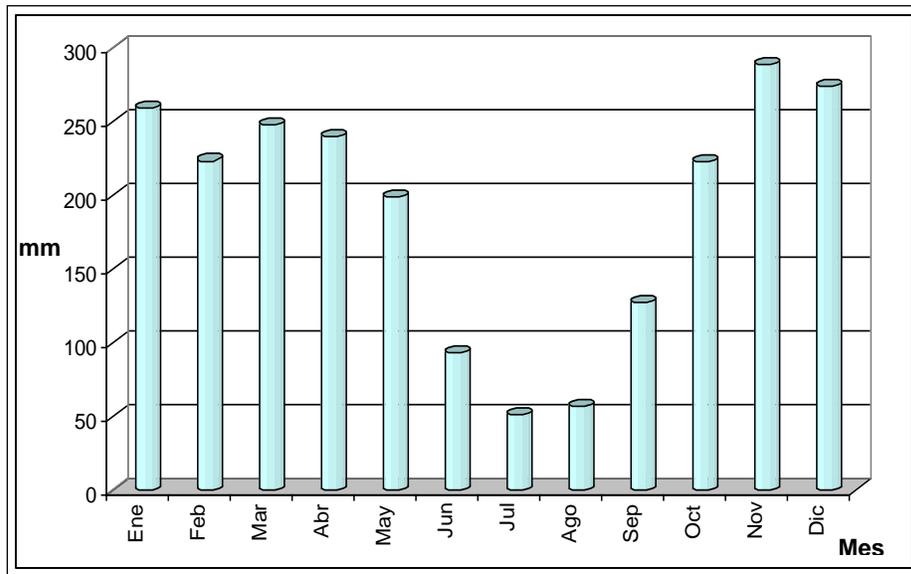
El segundo período más lluvioso va de marzo a mayo, con un registro de 482.3 mm de precipitación, que equivale al 30.50 % del total anual de la precipitación. El mes de abril es el más lluvioso durante este período.

La época de menos captación de lluvia abarca los meses de junio, julio y agosto, con un total de 108.1 mm de precipitación, lo que equivale al 6.83 % del total anual. El mes que presenta menos precipitación es agosto con 1.4 mm que equivale al 0.088%. La diferencia de precipitación entre el mes más lluvioso y el más seco es de 272.2 cifra que dobla el promedio mensual.

Este patrón de distribución de lluvias coincide con la parte baja de la subcuenca del Río Palacé, donde se ubica el humedal de la hacienda El Manzanar. El patrón de lluvias, se caracteriza por descensos bien marcados durante los meses de julio y agosto, con una transición en el mes de junio. Las temporadas de lluvia tienen valores más altos a menores altitudes (C.R.C., 2002).

A continuación se presentan el comportamiento de la precipitación anual registrada por la Estación Venta de Cajibío, ubicada a una altitud de 1800 m.s.n.m. (02° 36' N, 76° 33' W).

Figura 11. Distribución mensual de la precipitación en la subcuenca del río Palacé. Estación La Venta de Cajibío



Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca. Evaluación de la oferta y demanda del agua en la cuenca del río Palacé. C. R. C. Año 2002.

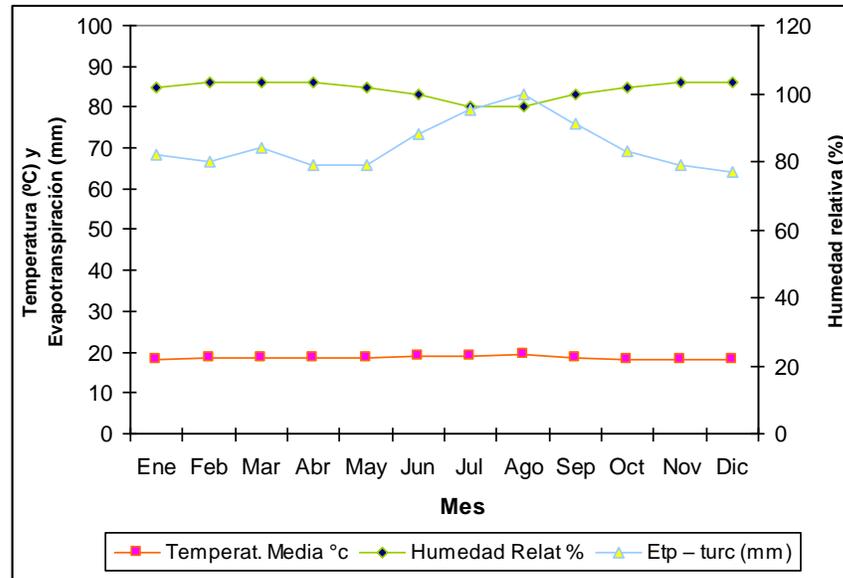
4.5. OTRAS VARIABLES CLIMÁTICAS

Con relación a los vientos, en el mes de agosto se presentan remolinos de fuerte intensidad, ocasionados por la influencia de las corrientes cálidas provenientes del valle del Patía y las corrientes húmedas de la Costa Pacífica (Vivas, D. T. y E. Muñoz, 1999).

En cuanto al brillo solar, se registra un rango entre 106 y 180 horas mensuales, presentando mayor concentración del mes de julio al mes de agosto con un valor máximo de 180 horas mensuales en julio. Entre los meses de septiembre y noviembre el fenómeno disminuye igual que entre febrero y octubre, registrando un valor de 106 horas mensuales (Vivas, D. T. y E. Muñoz, 1999).

A continuación se resume el comportamiento temporal de otras variables atmosféricas que determinan el clima en la zona, dando como referencia puntual los valores medios de la estación La Venta de Cajibío.

Figura 12. Distribución mensual de la temperatura, humedad relativa y evapotranspiración en la subcuenca del río Palacé. Estación La venta de Cajibío



Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca. Evaluación de la oferta y demanda del agua en la cuenca del río Palacé. C. R. C. Año 2002.

Se observa que la temperatura presenta un comportamiento relativamente estable durante todo el año, con un leve ascenso durante los meses de Julio y agosto. La evapotranspiración se incrementa entre los meses de junio y septiembre y se mantiene más o menos estable durante el resto del año. La humedad relativa presenta una disminución entre los meses de junio y septiembre, mientras que los meses restantes muestra cierta homogeneidad.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DEL BOSQUE Y DEL HUMEDAL

El área del bosque y el humedal fue georreferenciada, empleando un GPS (Global Position System), marca GARMIN, modelo MAP 76 S, para posteriormente ser ubicada sobre la plancha cartográfica 342-IV-D-2.

La información fue registrada en el correspondiente formato (ver anexo 36).

5.2. SELECCIÓN DE COLECTORES.

Las características de los colectores empleados para la medición de precipitación, trascolación y escorrentía cortical, tuvieron adaptaciones conforme a las condiciones locales, retomando las metodologías propuestas para Europa por el ICP (2004), y las empleadas en los estudios de Schmid (2004) y Veneklaas (1991) para bosques tropicales.

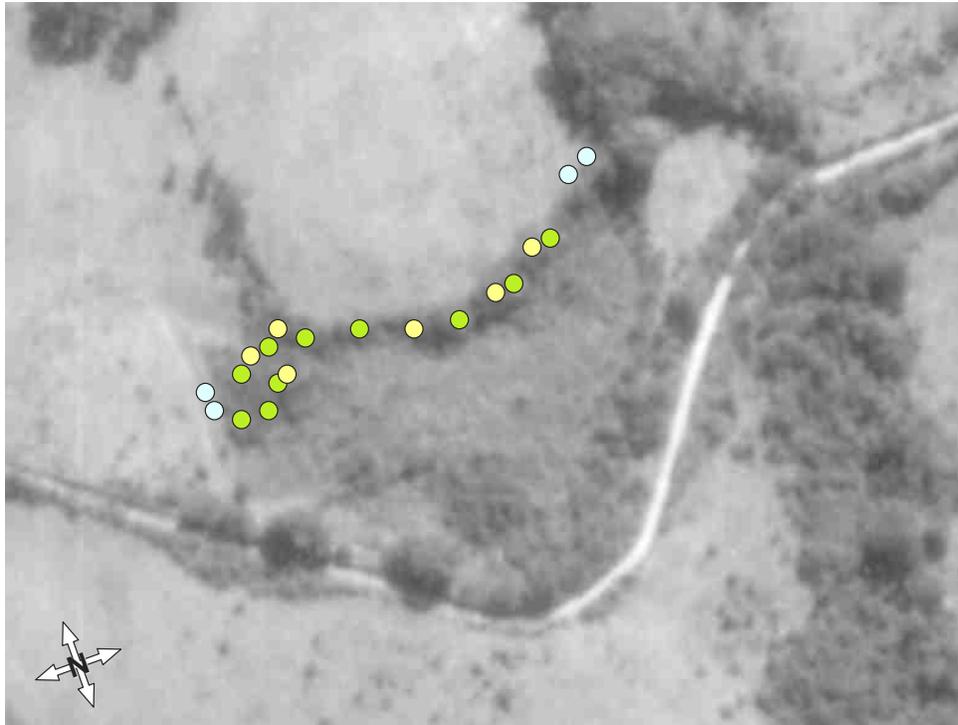
Los colectores seleccionados fueron sencillos, de bajo costo y muy eficientes para ser implementados.

5.3. UBICACIÓN DE COLECTORES

Se efectuó el reconocimiento del sitio, teniendo en cuenta diversos aspectos de tipo técnico como el geoposicionamiento del humedal y del bosque adyacente, la escogencia de los sitios más adecuados para el muestreo, de acuerdo a los requerimientos de cada uno de los procesos de entrada hidrológica del humedal.

Particularmente, para la ubicación de los colectores de trascolación y escorrentía cortical se tuvo en cuenta las características morfológicas de la vegetación arbórea (ver figura 13).

Figura 13. Ubicación de los colectores de precipitación  , trascolación  y escorrentía cortical  .



Fuente: Fotografía Aérea No. 000179 C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El ICP (2004) recomienda la ubicación de un mínimo de diez colectores de trascolación y de seis para escorrentía cortical, para áreas entre 30 x 30 m y 50 x 50 m, y de esta manera cubrir la variabilidad de la depositación encontrada. Además, la instalación de dos colectores para precipitación, paralelos e idénticos con el propósito de disminuir el riesgo por pérdida de muestra debido a contaminación y obtener una cantidad suficiente de solución para análisis durante los periodos de lluvias escasas.

A continuación se listan las especies arbóreas seleccionadas para la instalación de los colectores de trascolación y escorrentía cortical:

Tabla 2. Especies arbóreas seleccionadas para la instalación de los colectores de Trascología y Escorrentía Cortical

Proceso	Código	Familia	Género	Especie
Trascología	T01	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T02	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T03	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T04	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T05	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T06	Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>Americanus</i>
	T07	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T08	Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>Americanus</i>
	T09	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	T10	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
Escorrentía cortical	EC01	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Humboldtii</i>
	EC02	Melastomataceae	<i>Miconia</i>	<i>Caudata</i>
	EC03	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	EC04	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>
	EC05	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Humboldtii</i>
	EC06	Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>americanus</i>

5.4. PERIODICIDAD DE MUESTREO Y TOMA DE MUESTRAS

Las muestras en todos los casos se colectaron entre 10 y 25 días durante siete meses, entre julio de 2005 y enero de 2006. Todas las jornadas de campo iniciaban hacia las 7:30 a. m. y finalizaba a la 1 p. m.

La determinación del flujo de entrada de nitrógeno se llevó a cabo, mediante la estimación de los flujos de entrada de NH_4^+ , NH_3 y NO_3^- , por precipitación,

trascolación y escorrentía cortical en el bosque asociado al humedal de la hacienda El Manzanar.

Adicionalmente, se determinaron variables físicas y químicas complementarias al estudio, en los procesos de precipitación, trascolación y escorrentía cortical. Estas variables fueron: temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), salinidad, saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH y potencial de óxido-reducción.

En campo se llevaron registros del volumen total de muestra encontrado en el reservorio y de las observaciones realizadas en el momento, acerca del estado del tiempo, condiciones físicas de los colectores, entre otros. Todas las muestras fueron debidamente rotuladas con código, fecha y hora de recolección. Se transportaron en una nevera plástica para conservar sus propiedades y evitar que la luz afectara sus características. Posteriormente, las muestras se analizaron en el Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales.

En cada jornada de muestreo, todo el material de recolección de muestras (embudos, mangueras, reservorios), fue higienizado en campo con agua destilada y desionizada.

5.5. VOLUMEN DE CAPTACIÓN

La capacidad de cada uno de los recipientes para la recolección de muestra de precipitación, trascolación y escorrentía cortical fue de 21 Litros.

Durante cada jornada de muestreo se midió el volumen de captación recogido en cada uno de los colectores de todos los procesos. El orden para la medición fue: precipitación, trascolación y escorrentía cortical. Antes de la medición los colectores se agitaban para homogenizar la muestra.

El volumen de captación total de cada colector, se midió con una probeta plástica de 2000 mL, la cual fue lavada con agua destilada y desionizada después de cada medición para evitar la contaminación de la muestra siguiente. Cuando los colectores recogían volumen suficiente, la muestra para análisis se conservó después de dos o tres mediciones con la probeta. Por los colectores fue muy El

volumen fue registrado en el formato de captura de información de volumen de captación (ver Anexo 29).

Para su conversión a mm, en los procesos de precipitación, trascolación y escorrentía cortical, se dividió el volumen captado por cada recipiente (en litros), entre el área basal del mismo (0,0672 m²).

$$VC = \frac{V}{AB}$$

Donde,

VC = Volumen de captación en L/m² ó milímetros (mm).

V = Volumen de captación en Litros (L).

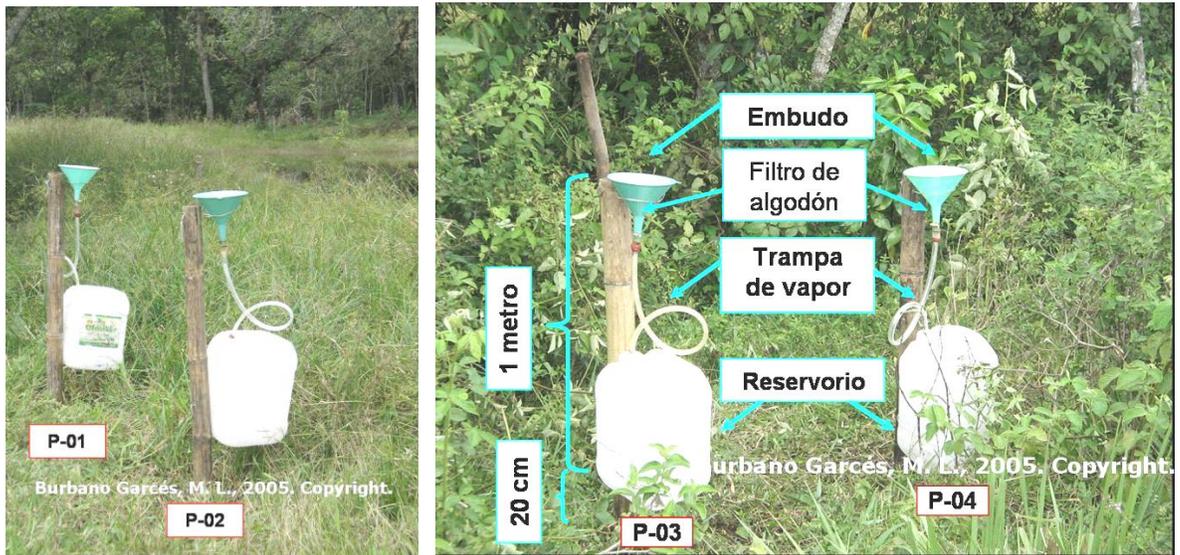
AB = Área basas del recipiente colector en m².

Durante los meses de julio, agosto y septiembre, correspondientes a la época de lluvias escasas, el volumen de captación recogido en la mayoría de los colectores de todos los procesos fue insuficiente para el análisis en laboratorio de muestras individuales (de cada colector), por lo tanto, después de las respectivas mediciones del volumen, se conformaron muestras compuestas con volúmenes iguales para cada proceso.

5.6. PRECIPITACIÓN TOTAL (P)

Para la toma de muestras de precipitación total, se implementó la técnica de muestreo por depósito total, citada por Likens (et. al., 1977). En esta, un colector capta tanto el depósito húmedo (lluvia y granizo), como el depósito seco (polvo, aerosoles, elementos biológicos, entre otros). Se ubicaron dos montajes de precipitación total, cada uno en un extremo del bosque del humedal. Un montaje constó de dos colectores adyacentes, separados aproximadamente por 50 cm, y permanentemente abiertos a la atmósfera.

Figura 14. Colectores de Precipitación Total



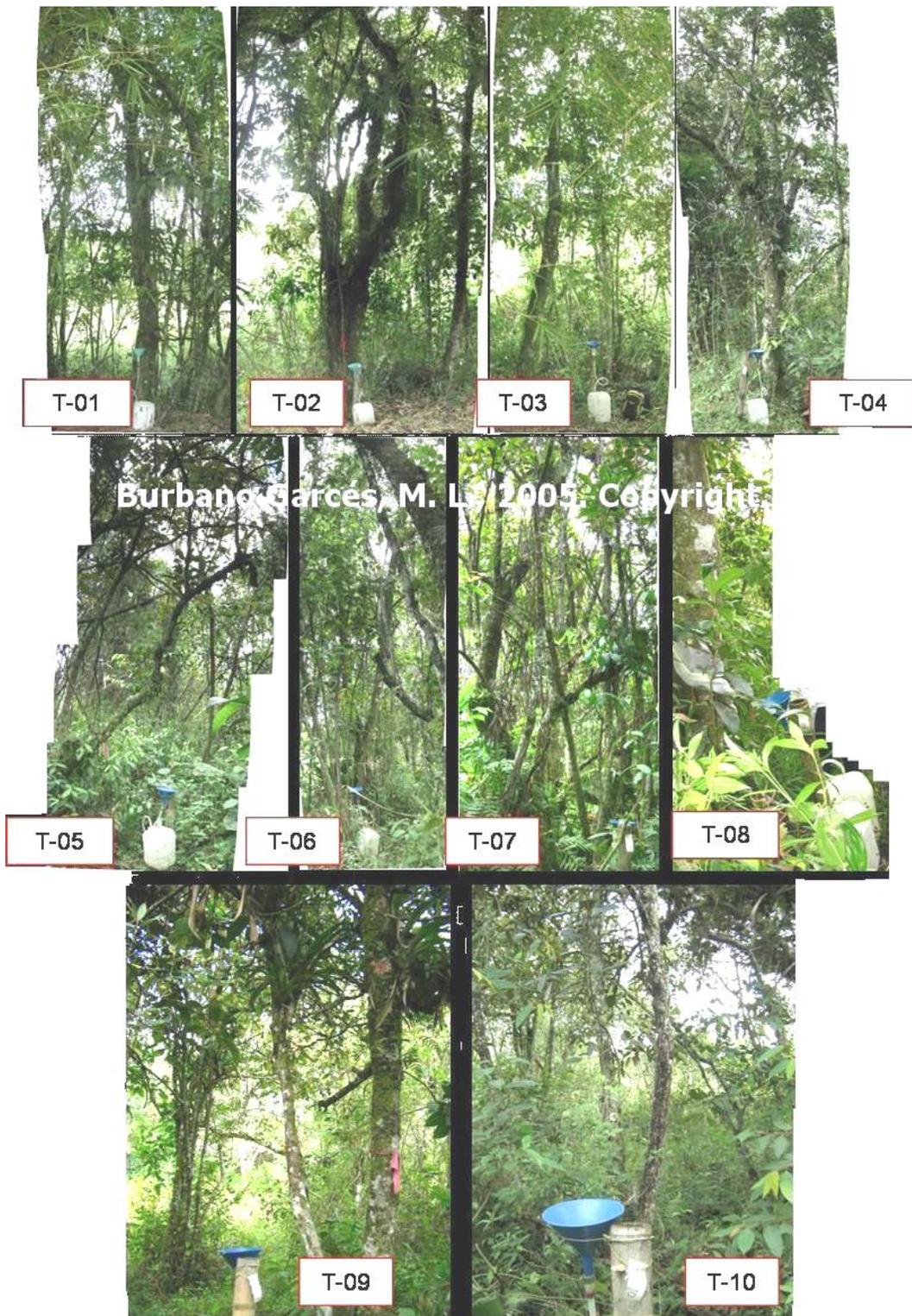
Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

Cada colector de precipitación (Ver figura 14) estuvo conformado de un embudo de polietileno (18,5cm de diámetro), conectado a un reservorio de plástico de baja densidad (capacidad de 21 litros) por medio de una manguera transparente organizada a manera de trampa de vapor, para prevenir la evaporación del reservorio y el intercambio de gases entre la atmósfera y la muestra. Teniendo en cuenta lo sugerido en las investigaciones de Hendry et al (1984), se optó por colocar un filtro de algodón aséptico en el orificio menor del embudo para prevenir que los insectos, aves o suciedad contaminaran la muestra.

5.7. TRASCOLACIÓN (T)

Para la medición del trascolación, se utilizaron los mismos colectores empleados para precipitación. Se ubicaron aleatoriamente 10 colectores de trascolación bajo la vegetación arbórea del bosque adyacente al humedal (Ver figura 15).

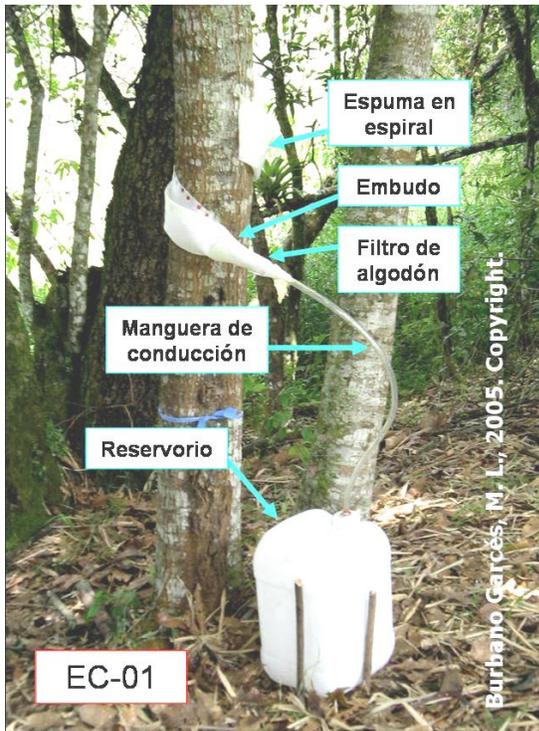
Figura 15. Colectores instalados de trascolación



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

5.8. ESCORRENTÍA CORTICAL (EC)

Figura 16. Colector de escorrentía cortical tipo espiral



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

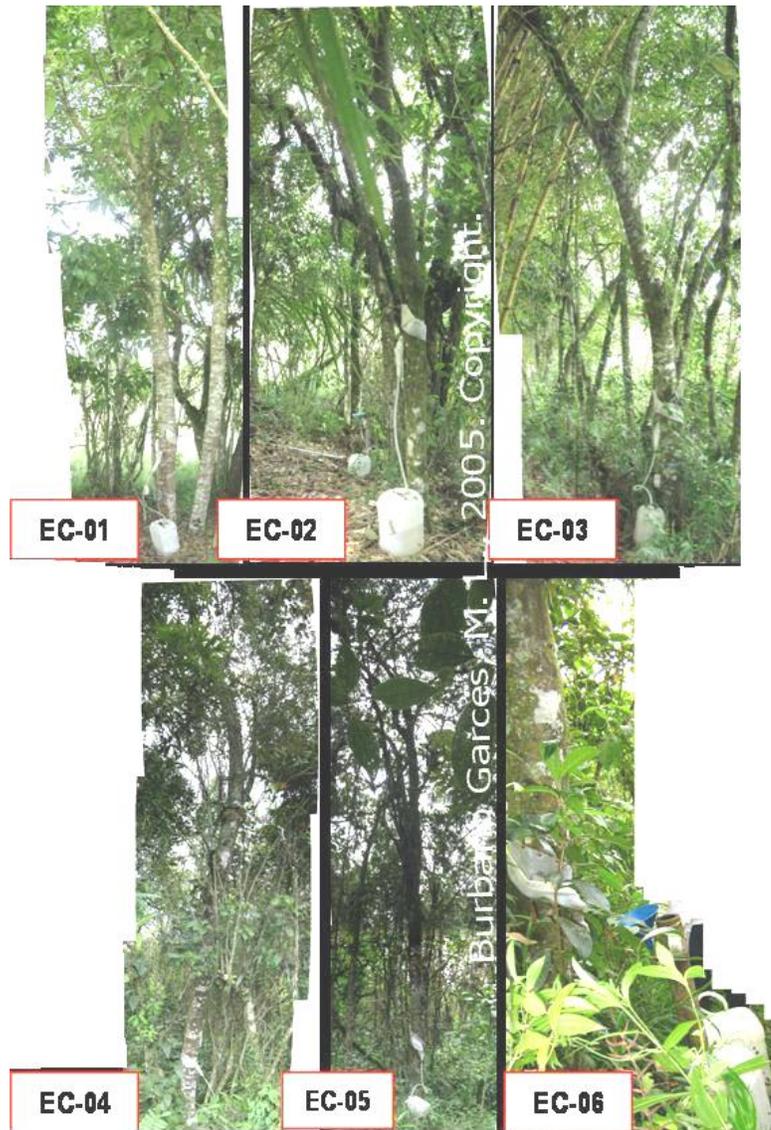
Se empleó la metodología de colectores de escorrentía cortical tipo espiral (Ver figura 16), propuesta por el ICP (2004) y Steinbuck (2002) adaptándola a las condiciones de los bosques tropicales, conforme a lo propuesto por Schmid (2004). Cada colector fue elaborado con espuma impermeable de 0.5 cm de grosor, 20 cm de ancho, y largo variable dependiente del DAP del árbol. La espuma se adhirió en forma de espiral a la corteza del árbol, empleando puntillas y pegante. Se organizó de tal manera que se formara un canal alrededor del árbol, de máximo 4 cm entre el lado saliente y el adherido a la corteza, con el propósito evitar obstrucciones que impidiese la recolección de la muestra y/o que a una mayor apertura del canal se comenzase a recoger agua de trascolación (Thimonier, 1998).

El colector se instaló sobre el tronco, entre aproximadamente 1,70 m a 1,20 metros a partir del nivel del suelo. La parte inferior del colector se fijó con pegante

a un embudo de 7 cm de diámetro, unido a un reservorio (con capacidad de 21 litros) por medio de una manguera.

Se escogieron seis árboles de tronco recto y con DAP ≥ 10 cm para ubicar los colectores de escorrentía cortical Tipo Espiral (Ver figura 17), al interior del bosque adyacente al humedal de la hacienda El Manzanar.

Figura 17. Colectores instalados de escorrentía cortical



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

5.9. MORFOLOGÍA ARBÓREA Y EPIFITISMO ARBÓREO

Se recolectó información morfológica y de epifitismo de los árboles en los cuales se instalaron los colectores de trascolación y escorrentía cortical. Lo anterior con el propósito de sugerir de manera general las posibles relaciones con el comportamiento de los flujos de entrada de nitrógeno al humedal por parte de la vegetación.

Toda la información de morfología y epifitismo arbóreo fue consignada en los correspondientes formatos (ver anexos 31, 32, 33 y 34).

El procedimiento seguido para la medición de la morfología arbórea, se indica a continuación:

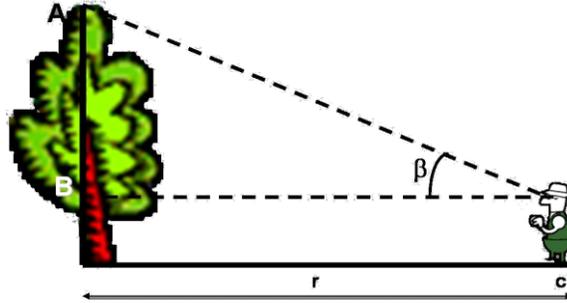
5.9.1. Determinación del Diámetro a la Altura del pecho (DAP)

El DAP se midió en todos los árboles estudiados con una cinta métrica graduada para este fin.

5.9.2. Determinación de la Altura del Árbol (AA)

La altura del árbol se midió empleando un clinómetro con el cual se determinó el ángulo β que se forma entre el extremo A y el B. Se tomaron 3 registros por árbol, variando la distancia del observador respecto a éste, para posteriormente determinar el promedio de las tres observaciones:

Figura 18. Determinación de la altura del árbol



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2006. Copyright.

5.9.3. Área de Proyección de la Copa (APC)

El área de proyección de la copa del árbol, se determinó midiendo la longitud de los radios en las ocho direcciones principales (N – S, NE – SW, E – W, SE – NW) (ver figura 12a), haciendo uso de una brújula y cinta métrica (Ver figura 12b) (Mateos y Schnabel, 1999; POSAF, 2005)

Para los cálculos de cobertura de copa, se aplicó la fórmula:

$$APC = \pi / 8(S)^2$$

Donde:

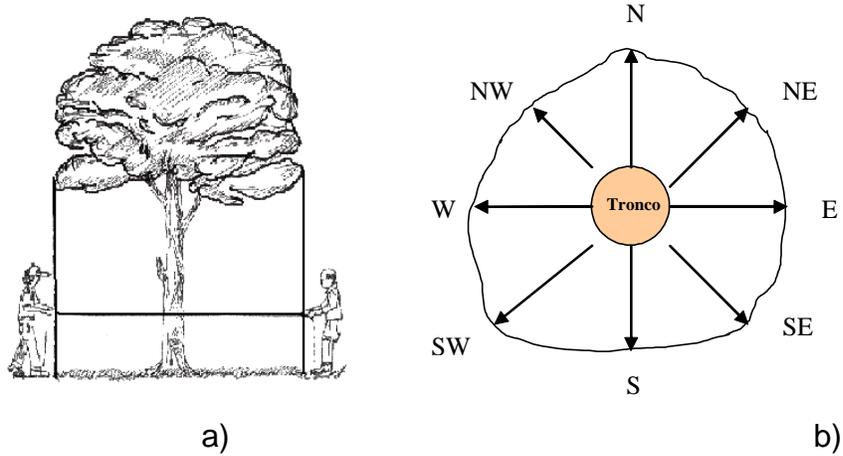
AC = Área de copa de un árbol

$\pi/8 = 0,3927$

S = Promedio de la proyección de copa en m.

Para obtener el área total de las copas se sumaron todas las áreas de copas individuales de los árboles.

Figura 19. Medición del área de la copa



Fuente: Mateos y Schnabel, 1999; POSAF, 2005

5.9.4. Abundancia de Epífitas

Con el propósito de determinar el epifitismo de manera cualitativa, la autora creó la metodología presentada a continuación:

En los árboles estudiados, la abundancia de epífitas se clasificó cualitativamente de acuerdo a la relación entre el número de ramas con presencia de epífitas Vs. el número total de ramas más el tronco (ver tabla 3).

Tabla 3. Clasificación cualitativa de la abundancia de epífitas

Número Total de ramas (N)	Número de ramas con epífitas (n)	Abundancia de Epífitas
N	$n = 0$	Ausente
N	$0 < n \leq \frac{N}{2}$	Moderada
N	$\frac{N}{2} \leq n \leq N$	Abundante

Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2007. Citar el presente trabajo.

A estos rangos se les dio una valoración para poder establecer una aproximación muy general al epifitismo del dosel arbóreo (ver tabla 4). Por extrapolación, se consideraría que el epifitismo de los árboles sería para la totalidad del dosel arbóreo.

Tabla 4. Rangos para la valoración cuantitativa de la abundancia de epífitas

Abundancia de Epífitas	Valoración
Ausente	0
Moderada	1
Abundante	2

Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2007. Citar el presente trabajo.

Si al promediar todos los árboles muestreados daba como resultado (N):

$$\begin{aligned}
 0 &= n < 1 \rightarrow \text{Ausente} \\
 1 &\leq n < 2 \rightarrow \text{Moderado} \\
 n &= 2 \rightarrow \text{Abundante}
 \end{aligned}$$

La caracterización del epifitismo dio como resultado 1,6; por lo tanto, se pudo considerar un epifitismo moderado en el dosel arbóreo (Anexo 1).

5.10. . MACRÓFITAS ACUÁTICAS

Las muestras de macrófitas acuáticas se obtuvieron empleando el método de colecta libre. Las muestras botánicas fueron clasificadas en el Herbario de la Universidad del Cauca.

Las muestras fueron debidamente rotuladas y se registraron en el correspondiente formato para levantamiento de vegetación (ver anexo 35).

5.11. ANÁLISIS DEL SUELO

En el área de estudio se tomaron muestras de suelo en varios sitios dentro del bosque y a orillas del humedal hacia la zona colmatada y de espejo de agua (ver figura 20).

Figura 20. Ubicación de los sitios donde se tomaron muestras de suelo



Fuente: Fotografía Aérea No. 000179 C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

5.12. ANÁLISIS DE AGUAS

Se realizaron análisis de agua, a partir de muestreos puntuales ubicados en el espejo de agua y en el canal formado por los dos sitios de salida de agua del humedal (ver figura 21). Los parámetros determinados fueron: pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales, amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3), nitrato (NO_3^-) y cloruro.

Las muestras fueron almacenadas y transportadas hacia el Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales donde se realizaron los correspondientes análisis con el equipo Sonda Multiparamétrica, marca YSI, modelo 6920. Los resultados del análisis fueron consignados en el correspondiente formato (ver anexo 30).

Figura 21. Sitios de toma de muestras de agua



Espejo de agua



Canal de salida

Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2007. Copyright.

5.13. CAUDAL

Figura 22. Medición de caudal

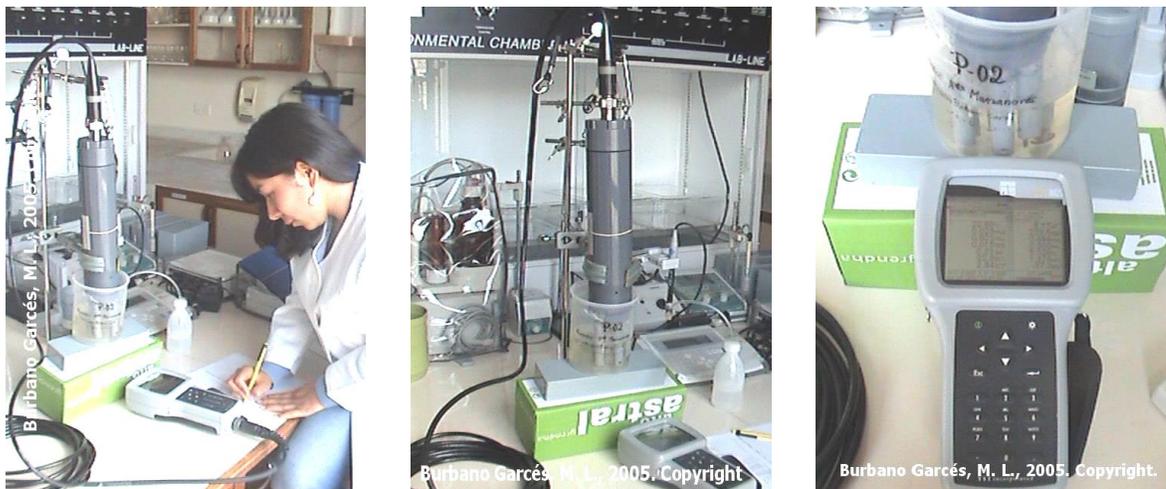


Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2006. Copyright.

Se efectuaron registros de caudal en la salida de agua del humedal, empleando un molinete con número de hélice 5 (ver figura 22). Los resultados se registraron en el correspondiente formato (ver anexo 37).

5.14. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Figura 23. Equipo de medición de parámetros físicos y químicos



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

Las muestras de precipitación, trascolación y escorrentía cortical fueron analizadas en el Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales. Todos los parámetros físicos y químicos fueron analizados con la sonda multiparamétrica YSI, modelo 6920 (ver figura 23).

En los mismos recipientes que se conservó la muestra en campo, se sumergió la sonda para proceder con el análisis, los cuales se realizaron en su mayoría inmediatamente después de la recolección de las muestras, o en su defecto a los dos o tres días siguientes. En ningún caso se analizaron muestras con mayor tiempo de recolección.

Los resultados se consignaron en el correspondiente formato (ver anexo 30).

Los parámetros físicos y químicos determinados para el agua de precipitación, trascolación y escorrentía cortical (ver tabla 5), se constituyeron en las variables dependientes, cuyo comportamiento temporal, fue analizado y comparado al interior y entre los procesos mencionados mediante los análisis estadísticos que se explican más adelante:

Tabla 5. Parámetros y Métodos de Análisis

Parámetro	Laboratorio	Instrumento	Método	Límite de Detección
Nitrógeno-Amonio (NH ₄ ⁺)	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Electrodo de Ión Selectivo	0-200 mg/L-N
Nitrógeno-Amoníaco (NH ₃)	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Calculado desde los sensores de ión amonio, pH y temperatura.	0-200 mg/L-N
Nitrógeno-Nitrato (NO ₃ ⁼)	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Electrodo de Ión Selectivo	0-200 mg/L-N
Conductividad	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Electrodo de 4 celdas con autorango.	0 a 100 μS/cm
TDS	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Calculado de la conductividad, de acuerdo a algoritmos.	No definido. En g/L
Salinidad	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Calculado de la conductividad y temperatura.	0 – 70 ppt.
pH	GEA - Unicauca	Sonda Multiparamétrica, YS- 6920	Electrodo con combinación de vidrio.	0 – 14 uds.

5.15. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Todas las pruebas estadísticas aplicadas a los datos fueron realizadas con el programa estadístico SPSS 10.1 para Windows.

Las características del diseño experimental y el comportamiento de los datos, permitieron que fuesen analizados mediante las siguientes pruebas estadísticas:

5.15.1. ANOVA de un factor

Los valores de los parámetros físicos y químicos analizados en el agua de lluvia, trascolación y escorrentía cortical, fueron analizados mediante la prueba

estadística, ANOVA simple, de un factor o de una vía. Mediante esta prueba se genera un análisis de varianza de un factor para una variable dependiente cuantitativa respecto a una única variable de factor (la variable independiente), con el propósito de comprobar la hipótesis nula de que varias medias son iguales o la hipótesis alternativa que al menos una difiere.

Para esta prueba, se consideraron las variables independientes:

☼ Época de lluvias:

- Lluvias escasas (Época 1): julio, agosto y septiembre.
- Lluvias abundantes (Época 2): octubre, noviembre diciembre, enero³.

☼ Procesos: precipitación, trascolación y escorrentía cortical

☼ Meses: julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero.

Mediante la prueba ANOVA, se analizó el efecto de estas variables sobre los compuestos de nitrógeno y las variables físicas y químicas complementarias, en cada uno de los procesos. Para los estadísticos F correspondientes a los efectos principales que resultaron significativos en esta prueba se emplearon las comparaciones múltiples *Post Hoc* para identificar las medias que difirieron entre sí.

5.15. 2. Análisis de Correlaciones.

El análisis de correlación no paramétricas de Spearman Rho se utilizó para demostrar el grado de interrelación existente entre las variables involucradas en el estudio para cada proceso:

3 Aunque, de acuerdo al régimen de lluvias, el mes de enero forma parte de la segunda época de lluvias escasas, después de realizar pruebas estadísticas incluyendo a enero, primero en la época 1 (lluvias escasas) y luego en la época 2 (lluvias abundantes), se encontró que la inclusión de enero en la época 1 tiene un efecto significativo y altamente significativo sobre la mayoría de los parámetros analizados en cada uno de los procesos hidrológicos. Y que no se presenta ninguna variación significativa al incluirlo en la época 2. Es decir, que el mes de enero se comporta igual que los meses de lluvias abundantes que lo antecedieron.

⊗ Análisis de correlación entre las concentraciones promedio mensuales de los compuestos de nitrógeno con el volumen y las variables físicas y químicas complementarias.

⊗ Análisis de correlación entre los flujos promedio mensuales de precipitación, trascolación y escorrentía cortical con el volumen total por proceso.

Tanto para esta prueba como para el ANOVA de una vía, se tuvo en cuenta los siguientes niveles de significancia:

⊗ ($P < 0.01$) **: Altamente significativo

⊗ ($0,01 < P < 0.05$) *: Significativo

⊗ ($P > 0,05$): no significativo

5.16. CÁLCULO DE FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA PRECIPITACIÓN, TRASCOLACIÓN Y ESCORRENTÍA CORTICAL

5.16.1 Flujo de los compuestos de nitrógeno en cada proceso

Se determinaron los flujos de los compuestos de nitrógeno (amonio, NH_4^+ ; amoníaco, NH_3 ; y nitrato, NO_3^-) depositados sobre el bosque adyacente al humedal en la precipitación, trascolación y escorrentía cortical. Los flujos obtenidos fueron correlacionados con los volúmenes de precipitación, trascolación y escorrentía cortical; y con las variables químicas y físicas complementarias. Los flujos de los compuestos de nitrógeno se calcularon multiplicando la concentración de los compuestos de nitrógeno por los respectivos volúmenes de precipitación, trascolación y escorrentía cortical (Veneklaas, 1990):

$$F_i = C_i \times VC_{mm}$$

De aquí se tiene que (Veneklaas, 1990):

$$VC = \frac{V}{AB}$$

Donde,

n : Total de muestras válidas colectadas en el periodo para la especie química de interés.

i : i -ésima muestra.

F_i : Flujo de nutrientes de la precipitación, trascolación o escorrentía cortical, para la especie química de interés $[(Kg / m^2) \times mes]$

C_i : concentración de la especie química de interés (mg/L).

VC_{mm} : Volumen de precipitación, trascolación y escorrentía cortical (mm o L/m²).

V_i : Volumen de muestra captado por el recipiente colector (L).

AB : Área de la base del recipiente colector (0,24mX0,28m = 0,0672m²).

5.16.2 Precipitación neta del agua y los compuestos de nitrógeno a través del dosel del bosque

A la suma de la cantidad de agua de trascolación y de escorrentía cortical que alcanza el suelo del bosque, se le conoce como la precipitación neta, lo que implica que el flujo de compuestos de nitrógeno en la precipitación neta es la entrada al suelo del bosque (Staelens, *et al.*, 2003; Veneklaas, 1990:).

$$PN = FT + FEC$$

Donde,

PN : Precipitación neta (mg/m²/mes)

FT : Flujo de trascolación (mg/m²/mes)

FEC : Flujo de escorrentía cortical (mg/m²/mes)

5.16.3 Flujo neto de los compuestos de nitrógeno

El flujo neto determinó el efecto total del dosel sobre el flujo de nutrientes. Se calculó restando la precipitación total a la precipitación neta (Staelens *et al.*, 2003), lo que permitió conocer el aporte real del material particulado, aerosoles y polvo atrapado por el follaje, expresando la diferencia como los aportes reales generados en la interacción follaje-precipitación (Valverde, 1996).

$$FN = FT + FEC - FP$$

Donde,

FN : Flujo neto (mg/m²/mes).

FP : Flujo de precipitación (mg/m²/mes)

5.16.4. Tasa de deposición de los compuestos de nitrógeno

Finalmente se calculó la tasa de deposición (*TD*) de los compuestos de nitrógeno, dividiendo el flujo de la trascolación (*TDT*) (o de la escorrentía cortical, TDEC) entre el flujo de precipitación (Parker, 1983). Este mismo cálculo se determinó para los flujos de agua.

$$TDT = \frac{FT}{FP}$$

$$TDEC = \frac{FEC}{FP}$$

En los flujos de agua, para determinar el porcentaje de volumen de agua de trascolación y escorrentía cortical con respecto a la precipitación, se empleó esta misma fórmula, pero al resultado se lo multiplicó por 100%.

$$\%_T = \frac{FT}{FP} \times 100\%$$

$$\%_{EC} = \frac{FEC}{FP} \times 100\%$$

Donde,

$\%_T$ = porcentaje del volumen de trascolación respecto al de precipitación.

$\%_{EC}$ = porcentaje del volumen de escorrentía cortical respecto al de precipitación.

$\%_{EC/T}$ = porcentaje del volumen de escorrentía cortical respecto al de trascolación.

6. RESULTADOS

6.1. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los resultados que se entregan en este apartado son producto de la caracterización del área de estudio en cuanto a sus dimensiones espaciales, vegetación, suelos y agua. Esta información será relacionada más adelante con el comportamiento de los parámetros físicos y químicos y los flujos de los compuestos de nitrógeno en la precipitación (*P*), trascolación (*T*) y escorrentía cortical (*EC*), determinados en el dosel arbóreo de un bosque relictual asociado al humedal de la hacienda El Manzanar.

6.1.1. Vegetación

El humedal presenta una zona colmatada de 1.189 Ha y el espejo lagunar de 0.2161 Ha. Las macrófitas acuáticas que se distinguen en el humedal son:

Tabla 6. Vegetación acuática del humedal: zona colmatada y espejo de agua⁴

	Familia	Género	Especie
Macrófitas acuáticas	Anagraceae	<i>Ludwigia</i>	<i>Sp.</i>
	Asteraceae	<i>Mikania</i> No determinado 1	<i>Sp.</i> No determinada 1
	Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>Sp.</i>
	Cyperaceae	<i>Eleocharis</i> <i>Rynchospora</i>	<i>acutangula</i> <i>Sp.</i>
	Juncaceae	No determinado 2	No determinada 2
	Lamiaceae	<i>Hyptis</i>	<i>capitata</i>
	Melastomataceae	<i>Meriania</i> <i>Monochaetum</i>	<i>Sp.</i> <i>linneatum</i>
	Poaceae	<i>Andropogon</i> <i>Brachiaria</i> No determinado 3	<i>bicornis</i> <i>Spp.</i> No determinada 3

⁴ La clasificación del material vegetal se realizó en el Herbario de la Universidad del Cauca.

El área total del humedal es de 1,4051 Ha y el área del bosque adyacente de 0.3059 Ha, la cual equivale al 21.8% de todo el humedal.

Al caracterizar la vegetación del bosque se encontraron cinco especies diferentes. Además, una moderada presencia de epífitas, ubicadas en el tallo y en las ramas de los árboles (ver tabla 7).

Tabla 7. Vegetación epifítica y arbustiva del bosque asociado al Humedal hacienda “El Manzanar”

	Familia	Género	Especie	
Epifítica	Aspleniaceae	<i>Asplenium</i>	<i>Sp.</i>	
	Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i>	<i>fendleri</i>	
	Leniaceae	<i>Aesplenium</i>	<i>aethiopicum</i>	
	Orchidaceae	<i>Oncidium</i>	<i>Sp.</i>	
	Piperaceae	<i>Peperonia</i>	<i>Sp.</i>	
	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>Sp.</i>	
Arbustiva	Clusiaceae	<i>Vismia</i>	<i>Sp.</i>	
	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	<i>Sp.</i>	
	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>humboldtii</i>	
	Melastomataceae	<i>Miconia</i>	<i>caudata</i>	
	Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>americano</i>	

Fuente fotografías: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

En el bosque contiguo al humedal se instalaron diez colectores de trascolación (*T*) y seis de escorrentía cortical (*EC*). Los de precipitación se ubicaron en sus inmediaciones a campo abierto. Los resultados de las características morfológicas de los individuos arbóreos muestreados se presentan a continuación (ver tabla 8)

Tabla 8. Características Morfológicas y epifitismo de los árboles muestreados. a) Resultados generales, b) promedios para trascolación y escorrentía cortical

a)

Proceso	Especie	Altura (m)	DAP	Altura del fuste (suelo a primera rama) (m)	Presencia de Epífitas		Área de la copa (m ²)
						valoración	
T01	<i>Alchomea Sp.</i>	17,0	39	3,9	Abundante	2	12,2
T02	<i>Alchomea Sp.</i>	16,5	0	0	Abundante	2	15,6
T03	<i>Alchomea Sp.</i>	18,2	29	6,7	Abundante	2	20,6
T04	<i>Alchomea Sp.</i>	16,7	25	2,95	Abundante	2	30,1
T05	<i>Alchomea Sp.</i>	15,2	25	3,5	Moderada	1	8,9
T06	<i>Heliocarpus americanus</i>	9,4	15	0,65	Moderada	1	17,9
T07	<i>Alchomea Sp.</i>	9,8	23	2,8	Abundante	2	15,3
T08	<i>Heliocarpus americanus</i>	11,6	25	2,8	Abundante	2	13,3
T09	<i>Alchomea Sp.</i>	13,0	16	1,5	Abundante	2	9,6
T10	<i>Alchomea Sp.</i>	8,3	22	1,5	Moderada	1	15,6
EC01	<i>Quercus humboldtii</i>	17,3	23	2,6	Ausente	0	17,6
EC02	<i>Miconia caudata</i>	18,0	16	2,6	Moderada	1	9,6
EC03	<i>Alchomea Sp.</i>	14,9	23	3,8	Moderada	1	15,6
EC04	<i>Alchomea Sp.</i>	16,3	24	3,6	Abundante	2	15,0
EC05	<i>Quercus humboldtii</i>	14,1	22	3,3	Abundante	2	9,1
EC06	<i>Heliocarpus americanus</i>	9,4	25	2,8	Abundante	2	13,3
Promedio		14,1	22,0	2,8	Moderada	1,6	15,0

Promedios por procesos

Proceso	Altura (m)	DAP	Altura del fuste (suelo a primera rama) (m)	Epifitismo	Área de la copa (m ²)
Trascolación	13,6	21,9	2,6	1,7	15,9
Escorrentía cortical	15,0	22,2	3,1	1,3	13,4

b)

Los árboles más altos fueron aquellos en los cuales se muestreó la *EC*. Igualmente, estos presentaron mayor DAP y altura del fuste. Mientras que en los individuos arbóreos para muestreo de *T*, el epifitismo fue mayor, posiblemente por un área de copa superior a los de *EC*.

6.1.2. Suelo

Los análisis de suelo tomados al interior del bosque y en las inmediaciones de la zona colmatada y de espejo lagunar, arrojaron los siguientes resultados⁵:

Tabla 9. Análisis del suelo del área de estudio

	Sitio			
	1	2	3	4
pH	5,77	4,62	4,87	5,75
Materia orgánica (%)	7,47	3,52	1,89	4,38
Nitrógeno (%)	0,49	0,23	0,25	0,29
Relación C/N	8,86	0,89	4,39	8,78
Fosfato (ppm)	0,99	0,99	1,05	0,74
Ca (meq/100g)	1,11	0,52	0,25	0,27
Mg (meq/100g)	0,42	0,16	0,1	0,29
K (meq/100g)	0,31	0,06	0,05	0,18
Na (meq/100g)	0,006	0	0	0,004
Al (meq/100g)	0	2,65	3,35	0
Carga iónica	4,2	14,9	18	37,4
Descripción del sitio de toma de muestra	En el potrero, hacia los límites donde se inicia la zona colmatada del humedal, próxima a los colectores de precipitación P03 y P04	Dentro del bosque en las inmediaciones de la zona inicial de colmatación, cerca de los colectores de trascolación T09 y T10.	Al interior del bosque, aproximadamente a 10 metros de la zona de colmatación; cerca de los colectores de trascolación T05 y T06, y a los de escorrentía cortical EC04 y EC05.	Fuera del bosque, frente al espejo de agua.

⁵ Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Aguas de la Corporación Autónoma Regional del Cauca.

Como se observa, los suelos del área de estudio son extremadamente ácidos, especialmente en el bosque, donde los niveles de aluminio son muy elevados (2,65 y 3,35 meq/100g).

Los suelos del bosque presentaron un contenido moderado de materia orgánica, un alto porcentaje de nitrógeno total y una baja relación C/N, lo cual permite inferir que los índices de descomposición son normales, pero con algunas limitaciones relacionadas con la acidez del suelo, debida en parte al material parental constituido por cenizas volcánicas y como producto de la materia orgánica, que promueve la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, predominando los ácidos húmicos.

Evaluaciones efectuadas en suelos ácidos con pH menor a cinco han demostrado la acumulación de materia orgánica. Esto se puede deber a que el pH incide en el contenido y composición de los microorganismos del suelo, generando una menor eficiencia a la mineralización (Sombroex, 1966 citado por Fernández, Ivan, 2004).

6.1.3. Agua superficial

Los análisis del agua del espejo lagunar y el canal de desagüe formado por las dos salidas de agua del humedal, arrojaron los siguientes resultados⁶:

Tabla 10. Análisis del agua del espejo lagunar y canal de desagüe del humedal

Parámetros analizados	Espejo de agua	Canal de salida
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	20	24
TDS (ppm)	13	16
Salinidad (ppt)	0,01	0,01
pH (unidades)	6,10	5,82
NH_4^+ (mg/L)	0,354	1,341
NH_3 (mg/L)	0,000	0,000
NO_3^- (mg/L)	1,767	0,701

⁶ Los análisis de agua se efectuaron en el Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca, empleando el equipo Sonda Paramétrica, marca YSI, modelo 6920.

El agua de las dos zonas del humedal presenta características oligotróficas. Los valores de conductividad, salinidad y TDS son muy bajos en ambos sitios. El pH en ambos sitios es muy bajo, especialmente en el canal de salida del agua, lo cual puede ser debido a las características ácidas del suelo, ya que su color rojizo es un indicador de la presencia de óxidos de hierro (ver figura 7).

En este mismo sitio la concentración de amonio (NH_4^+) es superior a la del espejo de agua, posiblemente por los procesos de descomposición de materia orgánica proveniente del humedal. Mientras que en el espejo de agua se aprecia que el proceso predominante es el de oxidación del nitrógeno.

6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO EN LA PRECIPITACIÓN (*P*), TRASCOLACIÓN (*T*) Y ESCORRENTÍA CORTICAL (*EC*)⁷

En este apartado se presentan los resultados del comportamiento de la concentración de los compuestos de nitrógeno: amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-). Así mismo, el nivel de significancia al correlacionarla con los parámetros físicos y químicos complementarios.

Este comportamiento fue estimado durante siete meses, abarcando dos épocas de lluvias: de lluvias escasas entre los meses de julio y septiembre de 2005, y de lluvias abundantes, entre octubre de 2005 y enero de 2006. Los procesos hidrológicos fueron evaluados en un área de bosque relictual de 0,3059 Ha, asociada a un humedal de 1,4051 Ha. Se ubicaron diez colectores de trascolación (*T*) y seis de escorrentía cortical (*EC*) bajo el dosel del bosque y cuatro colectores de precipitación (*P*) a campo abierto en las inmediaciones del bosque y el humedal.

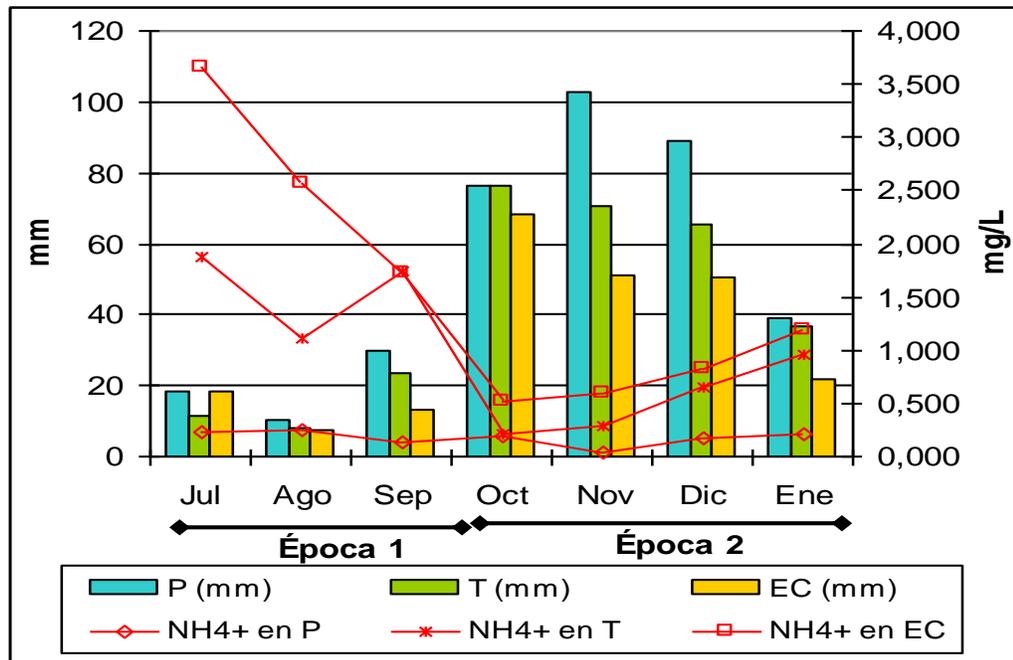
6.2.1. Amonio (NH_4^+)

Como se observa en la figura 24, durante los meses de muestreo, la *EC* (1,259mg/L) ostentó el mayor aporte de amonio (NH_4^+), seguida por la *T* (0,843 mg/L) y la *P* (0,179 mg/L) (Ver anexo 1). La concentración más elevada de amonio

⁷ P=Precipitación; T=Trascolación; EC=Escorrentía cortical.

(NH_4^+) en la *P* se reportó en el mes de agosto (0,242 mg/L), y en la *T* y *EC*, en el mes de julio (1,881 mg/L y 3,657 mg/L, respectivamente).

Figura 24. Distribución de la concentración promedio del amonio (NH_4^+) (mg/L) durante los meses de muestreo, respecto al volumen de cada proceso (mm).



El amonio (NH_4^+) presentó concentraciones más altas durante la época de lluvias escasas (época 1) en los tres procesos ($P=0,215$ mg/L, $T=1,690$ mg/L, $EC=2,681$ mg/L) (Ver anexo 2).

Es posible que durante la época 1, el amonio (NH_4^+) acumulado en la atmósfera y en el dosel, haya sido arrastrado por el agua de *P* y la *T+EC*, respectivamente, en altas concentraciones con relación al bajo volumen de agua de cada uno de los procesos durante esta época, afectando su flujo, dando como resultado un menor flujo en la época 1, como se verá más adelante (ver figura 24).

Al comparar la concentración de amonio (NH_4^+) por meses de muestreo de acuerdo a la época, se encontró que en la época 2, las diferencias fueron altamente significativas entre los meses de octubre y enero ($p<0,01$) tanto en la *T*, como en la *EC* (ver anexos 5 y 6), lo cual podría deberse al incremento de la

concentración de amonio (NH_4^+) en la medida que las lluvias disminuyeron de octubre a enero.

Lo anterior se comprobó al efectuar las pruebas de correlaciones:

En las dos épocas, para todos los procesos se encontraron correlaciones negativas entre el volumen y la concentración de amonio (NH_4^+) (ver Anexo 10, 11 y 12). Aunque en general, la concentración del amonio (NH_4^+) disminuyó respecto al incremento en el volumen del agua de *P* (época 1: $p=0,867$; época 2: $p=-0,149$), *T* (época 1: $p=-0,561$; época 2: $p=-0,305$) y *EC* (época 1: $p=0,505$; época 2: $p=-0,286$), la concentración más elevada se dio por *EC* en la época 1.

En las épocas 1 y 2, para los procesos de *T* y *EC*, se obtuvo una correlación positiva y en su mayoría altamente significativa ($p<0,01$) entre la concentración de amonio (NH_4^+), los TDS, la conductividad y la salinidad, aunque fue superior en la *EC* (Ver anexo 10, 11 y 12). Es decir, que parte de la concentración de TDS arrastrados por el agua de *T* y *EC*, se puede atribuir a los compuestos de amonio (NH_4^+).

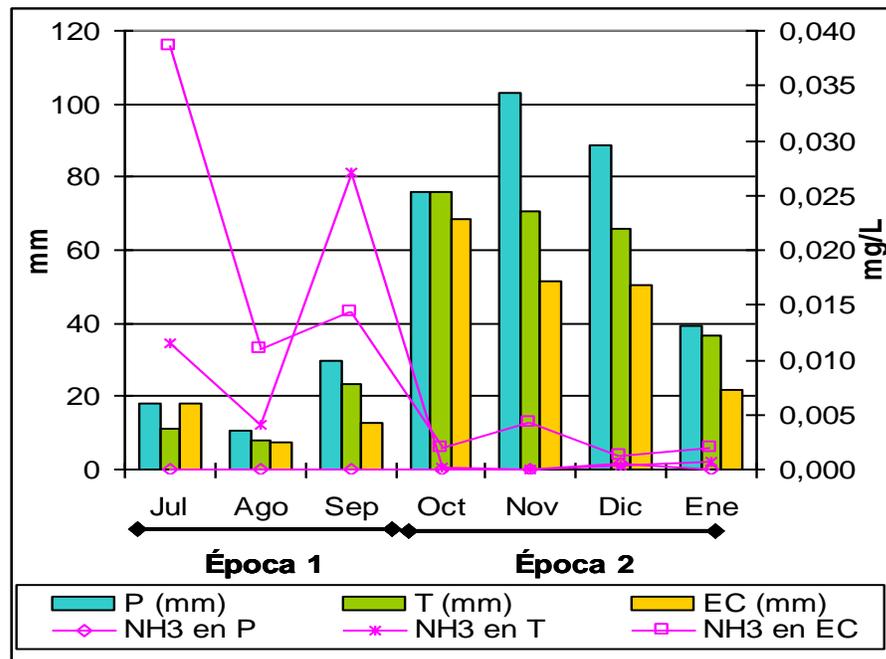
Al correlacionar el amonio (NH_4^+) con el pH, es evidente que sea positiva en todos los procesos (*P*: $p=0,411$; *T*: $p=0,400$; *EC*: $p=0,517$) (ver anexo 13). Sin embargo, en la *T* y *EC*, es altamente significativa, dejando entrever la capacidad del dosel arbóreo para neutralizar los componentes ácidos del agua de *P*.

De la época 1 a la 2, el pH experimentó un descenso en todos los procesos (ver anexo 9), pero fue más drástico en la *P* y la *T*, puesto que la *EC* sufrió una mínima disminución. Por lo anterior, es de suponer que la *EC*, es un proceso muy importante en la neutralización de los compuestos ácidos contenidos en la *P*.

La correlación de la concentración de amonio (NH_4^+) con el pH, fue positiva y altamente significativa en la *EC*, para las dos épocas de lluvias (época 1= $0,806$; época 2= $0,451$) (ver Anexo 12). Es decir, que los aportes de amonio (NH_4^+) son muy importantes para la neutralización de compuestos ácidos antes de su ingreso al suelo del bosque y de su llegada al humedal por escorrentía superficial. Especialmente en la época 2 cuando el pH tiende a disminuir, quizá por una mayor presencia en la atmósfera de precursores de acidez.

6.2.2. Amoníaco (NH₃)

Figura 25. Distribución de la concentración promedio del amoníaco (NH₃) (mg/L) durante los meses de muestreo, respecto al volumen de cada proceso (mm).



Las concentraciones más altas de amoníaco (NH₃) se presentaron en la época 1 para la T (0,015 mg/L) y EC (0,025 mg/L), en la P este compuesto estuvo ausente. Mientras que en la época 2, la concentración de amonio (NH₄⁺) por P fue de 0,0001 mg/L (ver anexo 2).

Durante todos los meses de muestreo, la EC ostentó la mayor concentración de amoníaco (NH₃) (0,008 mg/L), seguida por la T (0,004 mg/L) y la P (0,0001) mg/L (ver Anexo 1) (ver figura 25).

En el mes de septiembre se presentó un incremento considerable de la concentración de amoníaco (NH₃) y amonio (NH₄⁺) en la T (0,027 mg/l y 1,750 mg/L, respectivamente). Al examinar los datos no procesados se pudo determinar que en el colector T07 se presentaron los mayores valores de amoníaco (NH₃) y amonio (NH₄⁺) durante el mes de septiembre (ver Anexo 28). Este colector se ubicó en la especie *Alchornea sp.*, la cual se caracteriza por presentar exudados

(Murillo, 2004), que eventualmente podrían haber contribuido a incrementar la concentración de dichos compuestos.

Sin discriminar época de lluvias, al comparar cada uno de los procesos hidrológicos durante todos los meses de muestreo, se encontró que la concentración de amoníaco (NH_3) fue significativa en la T ($0,01 < p < 0,05 = 0,023$), y no significativa ($p > 0,05 = 0,174$) en la EC y la P ($p > 0,05 = 0,6453$) (ver anexos 3 y 4). Esto pudo estar relacionado con los procesos de dilución a los que estuvo sometida la concentración de amoníaco (NH_3) de los meses de menor a mayores lluvias.

El amoníaco (NH_3) estuvo ausente en la P durante la época 1, sin embargo en los otros dos procesos estuvo presente, al igual que en la P , T y EC , durante la época 2. Al respecto, se debe considerar la posibilidad que los aportes de amoníaco (NH_3) fueron principalmente locales, como se discutirá más adelante.

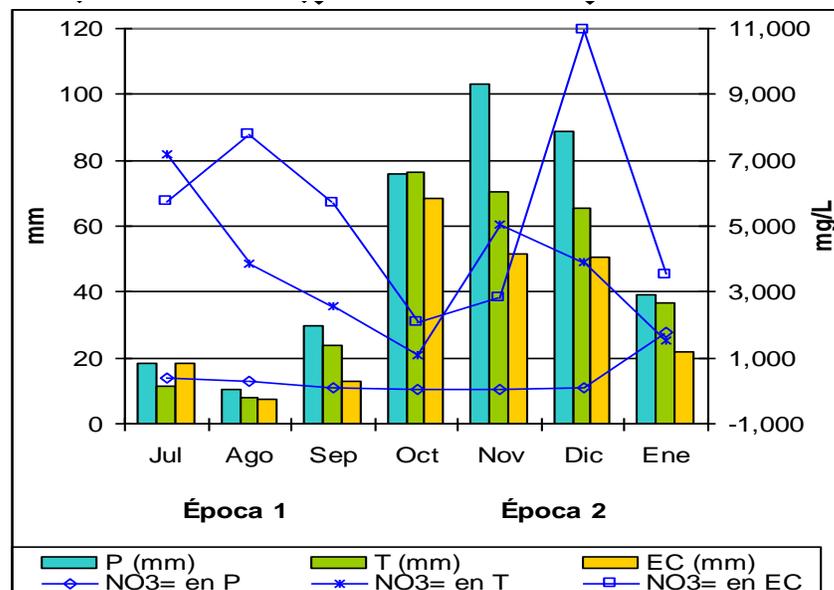
Comparando los procesos por épocas de lluvias, se encontró que la concentración de amoníaco (NH_3) fue significativa en la T , durante la época 2 ($0,01 < p < 0,05 = 0,010$) (ver anexos 5 y 6). Los meses que difirieron fueron octubre y enero, igual que para el amonio (NH_4^+) (ver anexo 6). Para los demás procesos en las épocas 1 y 2, la concentración de amoníaco (NH_3) fue no significativo ($p > 0,05$), incluyendo la T en la época 1.

Al correlacionar el amoníaco (NH_3) con las demás variables, se encontró una correlación positiva altamente significativa con el amonio (NH_4^+) en las dos épocas, para los procesos de T y EC ($p < 0,01$) (ver anexos 10, 11 y 12). En la P , la interrelación fue positiva pero no significativa ($p > 0,05$) en la época 2 (no se reportó concentración alguna de este compuesto en la época 1).

En general, el amoníaco (NH_3) tuvo un comportamiento muy similar al del amonio (NH_4^+) al interrelacionarlo con las variables complementarias, durante las dos épocas, específicamente para los procesos de T y EC . La conductividad, los TDS, la salinidad y el pH, están positivamente correlacionadas con la concentración de amoníaco (NH_3), de manera altamente significativa.

6.2.3. Nitrato (NO_3^-)

Figura 26. Distribución de la concentración promedio del nitrato (NO_3^-) (mg/L) durante los meses de muestreo, respecto al volumen de cada proceso (mm).



Durante todo el periodo de muestreo, la concentración promedio de nitrato (NO_3^-) mostró un comportamiento ligeramente diferente al amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) en la *P* (0,434 mg/L), *T* (3,307 mg/L) y *EC* (5,332 mg/L) (ver anexo 1 y figura 26). Las concentraciones más altas de nitrato (NO_3^-) se presentaron en la época 1 en los procesos de *T* (5,009 mg/L) y la *EC* (5,881 mg/L). Mientras que el nitrato (NO_3^-) en la *P* fue mayor durante la época 2 (0,497 mg/L) (ver anexo 2).

Al comparar las concentraciones de nitrato (NO_3^-) por época de lluvias se encontró que fue altamente significativo durante los meses de la época 2, en los procesos de *T* ($p=0,000$) y *EC* ($p=0,000$) (ver anexo 5). Las diferencias se ubicaron entre los meses de octubre y noviembre en la *T* ($p<0,01$) y octubre y diciembre en la *EC* ($p<0,01$) (ver anexo 6). Para la *P*, durante los dos periodos de lluvias, la diferencia de las concentraciones de nitrato (NO_3^-) fueron no significativas ($p>0,05=0,383$).

El hecho que en los procesos de *T* y *EC*, la concentración del nitrato (NO_3^-) haya sido altamente significativa ($p < 0,01$) en la época 2, implica posibles entradas de este compuesto, relacionadas con el arrastre de materia orgánica a través del follaje y el tallo, respectivamente (Valverde, 1996).

El nitrato (NO_3^-) presentó correlaciones diferentes de una época a otra y de un proceso a otro:

Al correlacionarlo con el amonio (NH_4^+), se encontró que en la *P*, durante la época 2 la correlación fue negativa ($p = -0,292$). Durante las dos épocas, el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) presentaron principalmente, correlaciones positivas significativas ($0,01 < p < 0,05$) y altamente significativas ($p < 0,01$) en la *T* y *EC*, respectivamente (ver anexos 10, 11 y 12); y altamente significativas en la *P* durante la época 1.

Una posible causa, para que en la época 2, el incremento de la concentración del amonio (NH_4^+) haya implicado la disminución del nitrato (NO_3^-), es la capacidad que tiene el amonio (NH_4^+) para formar y neutralización aerosoles de nitrato (NO_3^-), formando sales de amonio (NH_4^+) (Manahan, 1993):



La descomposición de la materia orgánica y procesos de nitrificación como dinámica constante en el dosel del bosque, podrían ser una explicación probable que justifique estas interrelaciones ente de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en la *T* y *EC*. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de fijación de nitrógeno por mediación biológica al interior de los colectores de la muestra.

Para la época 2, la correlación del nitrato (NO_3^-) con la conductividad, TDS y salinidad, fue negativa y significativa en la *P* ($0,01 < p < 0,05$) (ver anexo 10), lo que puede indicar que la concentración de nitrato (NO_3^-) no contribuyó en gran medida

con la actividad iónica de la precipitación, algo contradictorio si se tiene en cuenta que el nitrato (NO_3^-) fue mayor en la época 2.

En la época 1, las correlaciones con la conductividad y TDS, fueron positivas y significativas en la T ($0,01 < p < 0,05$), en comparación con las correlaciones positivas no significativas de la época 2 (ver anexo 11). Es decir, que las contribuciones del nitrógeno a la actividad iónica del agua de T , fue más marcada durante la época 1 de lluvias escasas.

En cuanto a la EC , se observó que la contribución del nitrato (NO_3^-) a la actividad iónica fue altamente significativa durante la época 1 ($p < 0,01$) (ver anexo 12), mientras que en la época 2, sólo fue significativa para la salinidad.

Tanto la T como la EC , influyeron significativamente en la actividad iónica del agua que pasa por el dosel y por el tronco de los árboles, durante la época 1, cuando sus concentraciones fueron mayores.

6.3. FLUJOS DEL AGUA DE PRECIPITACIÓN (P), TRASCOLACIÓN (T) y ESCORRENTÍA CORTICAL (EC)

6.3.1. Validación de los datos de volumen

Para el cálculo del agua incidente de P , T y EC , se incluyó la cantidad de agua recogida por los colectores que no presentaron averías en sus partes o exceso de materia orgánica, los cuales fueron invalidados para este propósito (ver tabla 11).

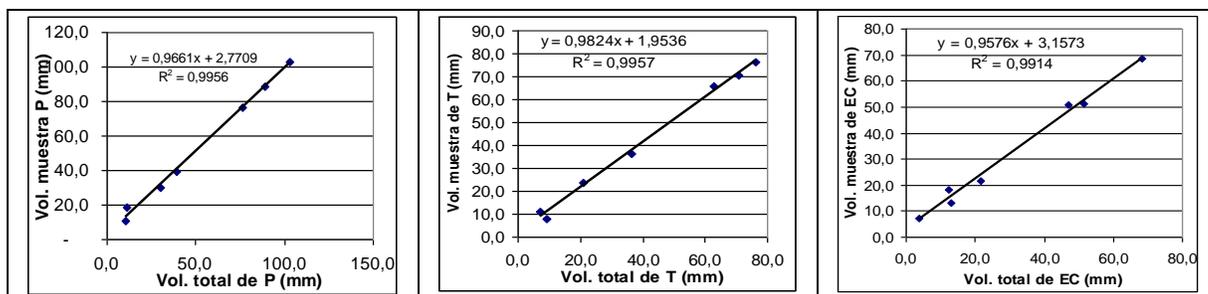
Tabla 11. Muestras válidas e invalidadas para el cálculo de la cantidad de agua incidente por *P, T* y *EC*⁸

Precipitación		Trascolación		Escorrentía cortical	
V	IVa, IVd o Ncm	V	IVa, IVd o Ncm	V	IVa, IVd o Ncm
33	11	87	23	54	12

Algunas muestras válidas después de medido el volumen se derramaron durante el transporte desde el humedal hacia el laboratorio de análisis químico, por lo cual fue necesario realizar una regresión lineal entre los promedios del volumen del agua de *P*, *T* y *EC* medido en campo y el de las muestras empleadas para el análisis físicoquímico.

Se encontraron coeficientes de regresión muy altos en todos los procesos (*P*: $r^2=0,9956$; *T*: $r^2=0,9957$; *EC*: $r^2=0,9914$) (ver figura 27), por lo tanto, se decidió utilizar los volúmenes de las muestras que llegaron al laboratorio en perfectas condiciones, para calcular flujo del agua de los procesos y los flujos de los compuestos de nitrógeno.

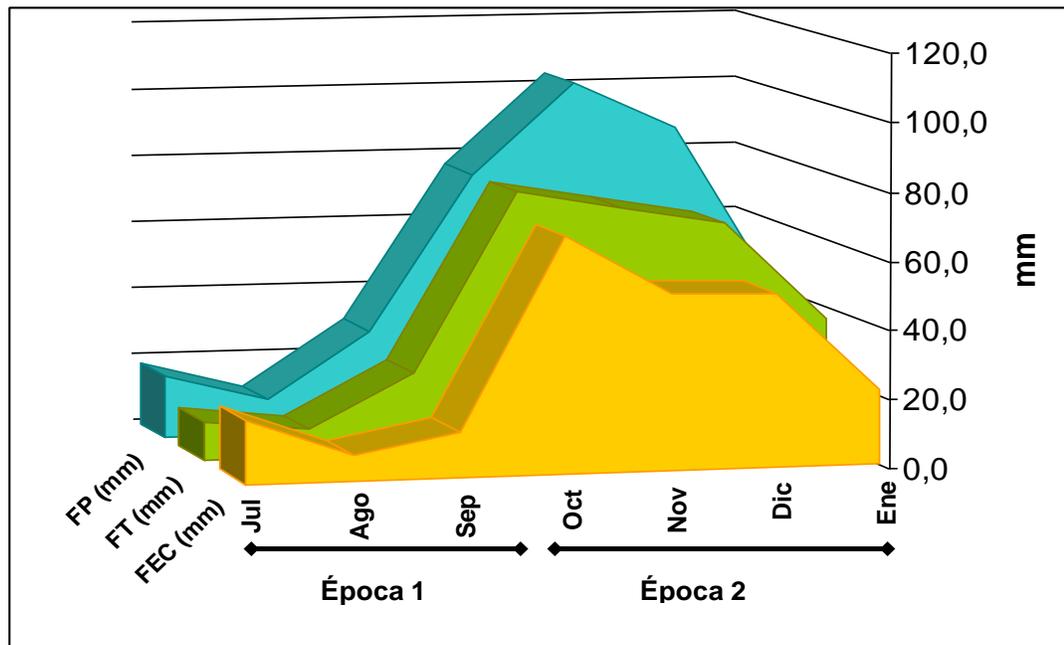
Figura 27. Correlación entre los volúmenes totales medidos en campo y los volúmenes de las muestras para análisis físico y químico (mm)



⁸ V: válidas; IVa: Invalidadas por averías en colectores o exceso de materia orgánica; IVd: Invalidadas por derrames de muestra; Ncm: No colectó muestra.

6.3.2. Distribución de los flujos del agua de *P*, *T* y *EC*⁹

Figura 28. Distribución de los flujos de *P*, *T* y *EC*, durante todos los meses de muestreo



Entre julio de 2005 y enero de 2006, los colectores de agua de *P*, recogieron un flujo de agua de 299,5 mm en el área de estudio (ver tabla 12 y figura 28). El comportamiento de la *P* coincidió con el patrón estacional, con menores precipitaciones entre los meses de julio y septiembre y mayores precipitaciones entre octubre y enero. Noviembre fue el mes de mayor flujo de agua de *P* (103,0 mm) y agosto el de menor flujo (10,4 mm). La época 1 reportó 58,6 mm de *FP* y la época 2, 307,1 mm.

El flujo de agua de *T* (*FT*) durante el periodo de muestreo fue 237,5 mm (ver tabla 12 y figura 28). Octubre fue el mes de mayor flujo de agua de *T* (76,2 mm), y agosto el de menor (8,2 mm). El flujo total de agua de *T*, estuvo por debajo del volumen de *P* en todo el periodo de muestreo. La época 1 registró 43,0 mm y la época 2, 249,0 mm.

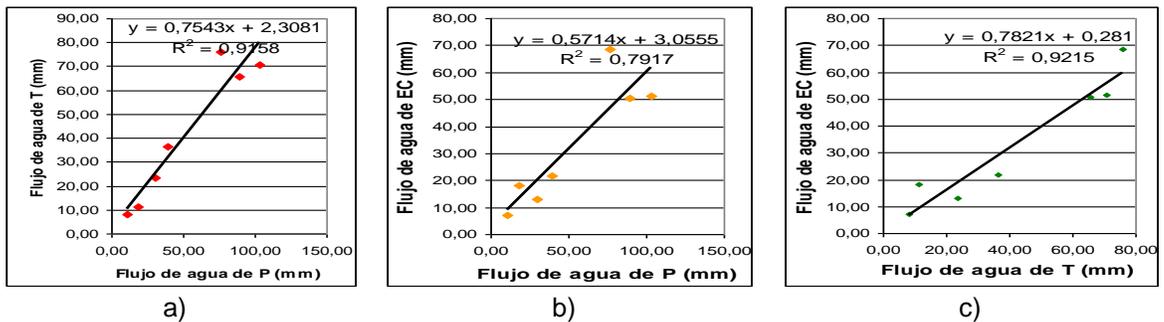
⁹ P=Precipitación; T=Trascolación; EC=Escorrentía cortical.

Tabla 12. Flujos de agua de *P*, *T* y *EC*

	Mes	Flujo precipitación (FP)	Total	Flujo Trascolución (FT)	Total	Flujo Escorrentía Cortical (FEC)	Total
Época 1	Jul	18,3	58,6	11,3	43,0	18,2	38,3
	Ago	10,4		8,2		7,2	
	Sep	29,9		23,6		13,0	
Época 2	Oct	76,1	307,1	76,2	249,0	68,5	192,1
	Nov	103,0		70,7		51,4	
	Dic	88,8		65,7		50,6	
	Ene	39,2		36,6		21,6	
TOTAL		299,5		237,5		182,1	

Los resultados indican que la *EC* presentó un flujo de agua menor a la *P* y *T* (182,1 mm) durante todo el periodo de muestreo. Al igual que la *P* y *T*, siguió el patrón estacional de las lluvias. Agosto fue el mes de menor volumen (7,2 mm), mientras octubre el que aportó mayor volumen hídrico por *EC* (68,5 mm). En la época 1, el *FEC*, fue de 38,3 mm y en la época 2, de 192,1 mm.

Figura 29. Relación entre los flujos de agua de *P*, *T* y *EC*. a) Flujo de agua de *T* Vs. Flujo de agua de *P*; b) Flujo de agua de *EC* Vs. Flujo de agua de *P*; c) Flujo de agua de *EC* Vs. Flujo de agua de *T*.



El aumento o disminución del flujo de agua de *T*, está más fuertemente relacionado con el flujo de agua de *P* ($r^2=0,9158$) (Ver figura 29b) que el flujo de agua de *EC* con el flujo de *P* ($r^2=0,7917$) (ver figura 29a). Mientras que la *EC* está más relacionada con el flujo de agua de *T* ($r^2=9215$) (ver figura 29c), indicando el efecto del dosel sobre el comportamiento de estos dos procesos y que al parecer el flujo de agua de *EC*, se está surtiendo de los aportes por *T*, a través de las ramificaciones hacia el tallo, antes de llegar al suelo del bosque.

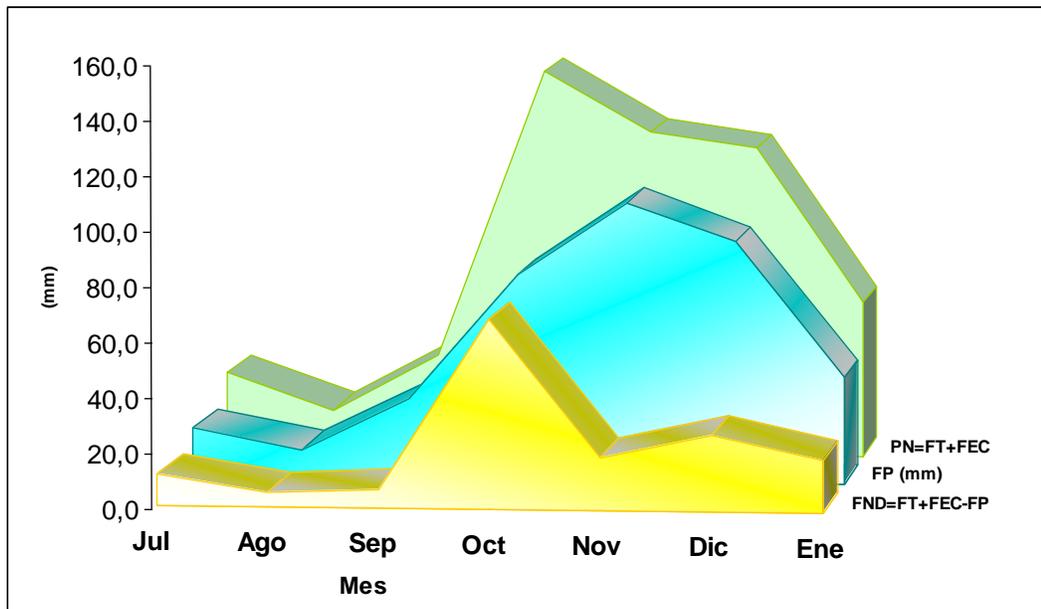
En la siguiente tabla se presentan los porcentajes resultantes de relacionar el flujo de agua escorrentía cortical y trascolación con el de precipitación, así como el flujo de escorrentía cortical respecto de la trascolación

Tabla 13. Porcentajes de los flujos de P, T y EC (mm). Precipitación neta, flujo neto y sus porcentajes.

	Mes	$\%T=(FT/FP)^*100\%$	Época (promedio)	$\%EC=(FEC/FP)^*100\%$	Época (promedio)	PN=FT+FEC	Época (sumatoria)	FND=FT+FEC-FP	Época (sumatoria)	$\%PN=(PN/FP)^*100\%$	Época (promedio)
Época 1	Jul	61,6	72,9	99,2	70,6	29,4	81,3	11,1	22,7	160,8	143,5
	Ago	78,4		69,2		15,4		5,0		147,6	
	Sep	78,8		43,4		36,5		6,6		122,2	
Época 2	Oct	100,0	84,0	89,9	63,0	144,6	441,1	68,5	134,0	190,0	146,9
	Nov	68,6		49,9		122,0		19,0		118,5	
	Dic	73,9		57,0		116,3		27,5		130,9	
	Ene	93,3		55,1		58,2		19,0		148,4	
Promedio Total		79,2		66,2		Sumatoria 522,4		Sumatoria 156,7		145,5	

El dosel arbóreo contribuyó al humedal con una precipitación neta total de 522,4 mm, durante el periodo de muestreo. El mes de octubre realizó los mayores aportes (144,6 mm) y agosto el de menor contribución (15,4 mm) (ver figura 30).

Figura 30. Precipitación neta y flujo neto mensual Vs. flujo de precipitación

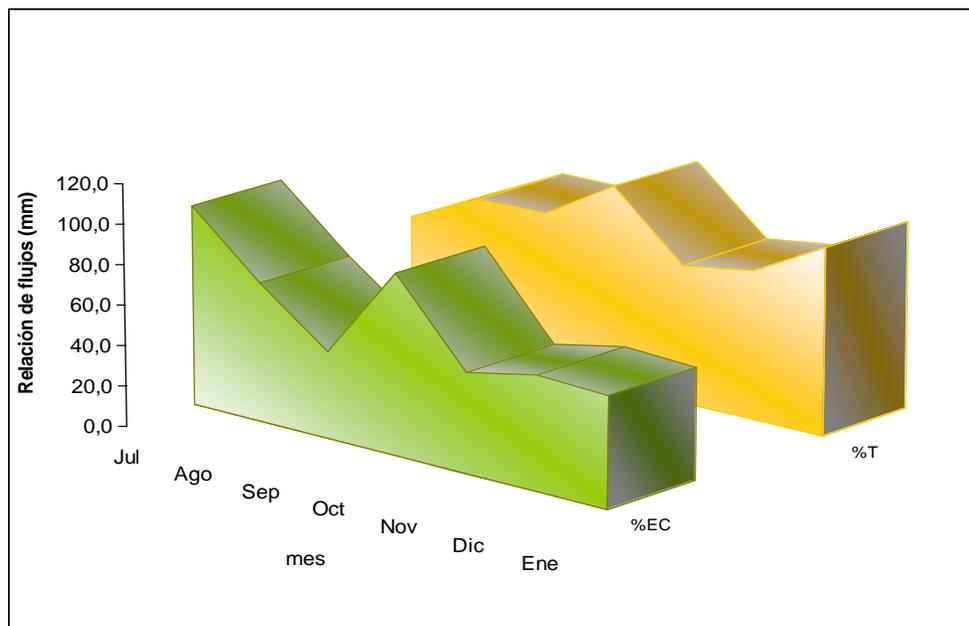


El porcentaje de P que alcanzó el suelo fue 79,3% 60,8%, por T y EC , respectivamente, durante todo el tiempo de muestreo (ver tabla 13). En el mes de octubre el porcentaje de P que llegó al suelo por T levemente superó el 100%. Igualmente y de manera sorprendente, el porcentaje de EC , estuvo por encima de la T , durante el mes de julio.

Los dos casos anteriores se podrían explicar por el agua adicional interceptada por la superficie del dosel en forma de interceptación de niebla (González, 2000; Olson, et al, 1981), que precipitó al suelo en el agua de EC y T . Esta consideración también sustentaría, el por qué la suma del flujo de agua de T y la EC , superó en más del 100% al flujo de agua de P , durante todos los meses de muestreo.

El flujo de agua de EC , representó el 76,7% del T durante todo el periodo de muestreo (ver tabla 13). El mayor porcentaje de EC respecto al flujo de agua de T durante la época 1, puede atribuirse a una gran capacidad de almacenamiento de agua por parte de la corteza del tallo (Koichiro, at al., 2001) y a la posibilidad que la capacidad de carga del dosel se reduce cuando las gotas de lluvia y las intensidades de lluvia son mayores (Price y Carlyle-Moses, 2003).

Figura 31. Porcentaje de los flujos de trascolación y escorrentía cortical respecto a la precipitación

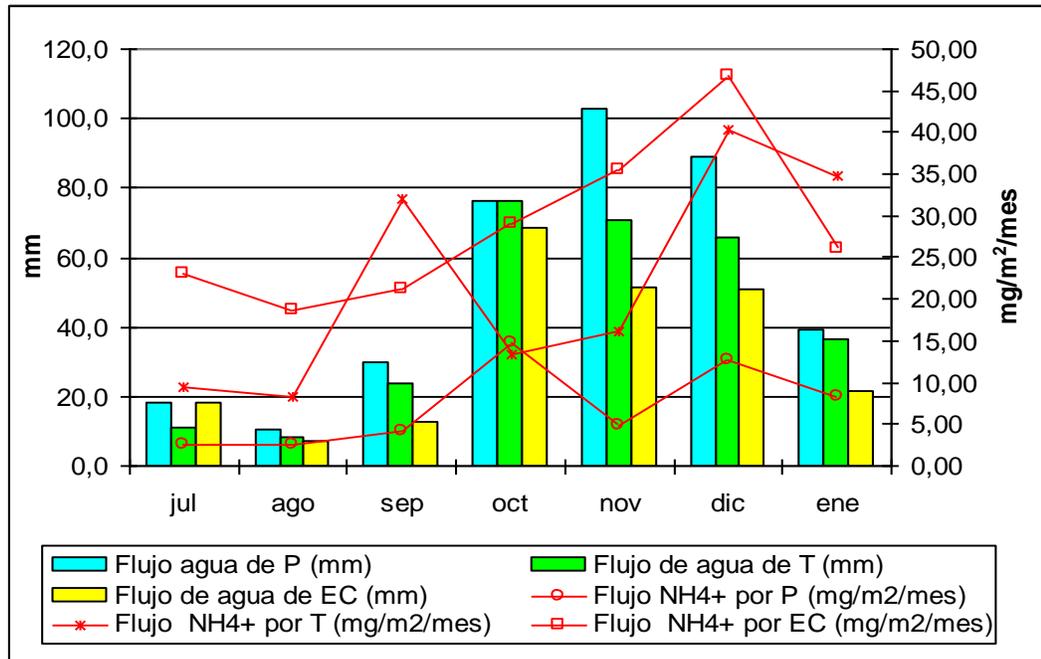


6.4. FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA *P*, *T* y *EC*

En el siguiente apartado se presentan los resultados de los flujos de los compuestos de nitrógeno. Posteriormente, se analizarán sus relaciones mediante precipitación neta y tasa de depósito, para finalizar estableciendo el flujo total de los compuestos de nitrógeno por precipitación neta que llega al humedal por aporte del dosel arbóreo.

6.4.1. Flujo del amonio (NH_4^+)

Figura 32. Flujo mensual del amonio (NH_4^+) ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{mes}$) en los procesos de *P*, *T* y *EC* (mm)



El flujo promedio mensual del amonio (NH_4^+) fue mayor en la *EC* ($28,62 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{mes}$), seguido por la *T* ($22,04 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{mes}$) y *P* ($7,11 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{mes}$) (ver anexo 14 y figura 32). Como se observa los más altos aportes promedio y totales de amonio (NH_4^+), se dieron a través de la *EC*.

Durante el mes de septiembre, cuando las lluvias se incrementaron levemente en comparación con los meses secos de julio y agosto, el flujo del amonio (NH_4^+) se acrecentó considerablemente en la *T* (ver figura 32), quedando en evidencia como el follaje actúa como retenedor de depositación seca durante las épocas de menores lluvias y que obviamente, a mayor biomasa se incrementa la depositación de partículas.

Los mayores flujos de amonio (NH_4^+) se presentaron durante la época 2 (*P*: 10,14; *T*: 26,17 y *EC*: 34,37 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) (ver anexo 15 y figura 36), cuando el lavado de la atmósfera y consecuentemente a través del dosel fue más constante debido a las lluvias abundantes, pese a que la concentración del amonio (NH_4^+) fue menor en la época 2 que en la 1 (ver anexo 2), pero este efecto se puede explicar porque el amonio (NH_4^+) es removido fácilmente de la atmósfera debido su gran afinidad con el agua y porque actúa como una base (Manahan, 1993).

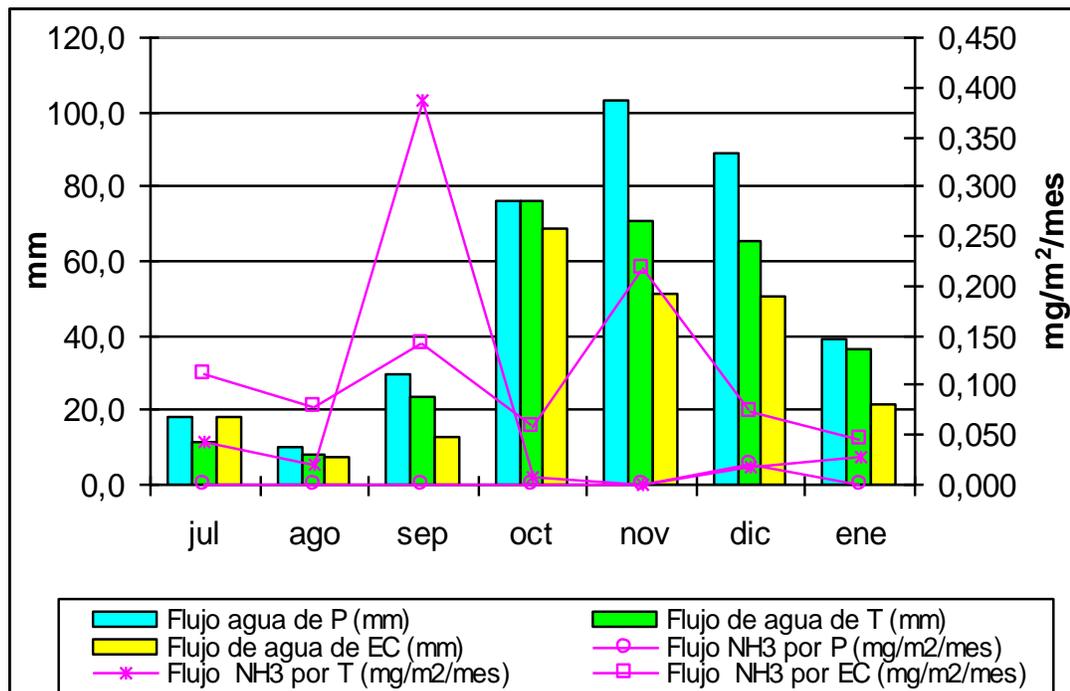
Durante todo el estudio, el flujo del amonio (NH_4^+) en la *P* presentó una correlación positiva muy significativa con el volumen de agua ($p < 0,01 = 0,630$), en comparación con la concentración del amonio (NH_4^+) ($0,01 < p < 0,05 = 0,385$) (ver anexo 26). En contraste, para la *T* y *EC*, las correlaciones entre el flujo de amonio (NH_4^+) con el volumen (*T*: $p < 0,01 = 0,583$; *EC*: $p < 0,01 = 0,614$) y la concentración de amonio (NH_4^+) (*T*: $p < 0,01 = 0,343$; *EC*: $p < 0,01 = 0,386$), fueron positivas altamente significativas, lo cual indica el gran efecto que tiene el follaje y la corteza del tallo como acumulador de depositación seca, lo que deja en claro que esta es la principal fuente de amonio (NH_4^+) (Raat, *et al.*, 2002).

La fuerte correspondencia positiva entre los flujos de amonio (NH_4^+) y su concentración, podrían explicar que el sobresaliente incremento del flujo en la *T*, durante el mes de septiembre fue producto de un notable incremento en la concentración del amonio (NH_4^+) y del volumen.

En la época 1, el flujo de amonio (NH_4^+) por *P* tuvo una mejor correspondencia con el volumen ($p = 0,533$) que con la concentración del mismo ($p = -0,1$). Mientras que en la época 2 la correlación fue alta con el volumen de *P* ($p = 0,419$) y con la concentración ($p = 0,778$). Para el caso del flujo de *T* y *EC*, se presentó una situación similar, pero fue más significativa que la *P* (ver anexo 23). Aunque hubo una mayor concentración de amonio (NH_4^+) en la época 1, el flujo se favoreció en la época 2, especialmente en los procesos de *P* y *EC*.

6.4.2. Flujo del amoníaco (NH₃)

Figura 33. Flujo mensual del amoníaco (NH₃) (mg/m²/mes) en los procesos de *P*, *T* y *EC* (mm)



Los más altos aportes promedio mensuales de amoníaco (NH₃) se dieron por *EC* (0,10 mg/m²/mes), seguido por la *T* (0,07 mg/m²/mes) y *P* (0,003 mg/m²/mes) (ver figura 35 y anexo 14).

Comparando por épocas de lluvias, en la época 1 hubo mayores aportes de amoníaco (NH₃), exclusivamente por *T* (0,15 mg/m²/mes) y *EC* (0,11 mg/m²/mes), dada la ausencia de este compuesto en la *P* (Anexo 15 y figura 36). En la época 2, los aportes de amonio (NH₄⁺) se dieron por los tres procesos, pero en su mayoría por *EC* y *T* (*EC*= 0,10 mg/m²/mes, *T*=0,01 mg/m²/mes, *P*= 0,01 mg/m²/mes) (ver anexos 11 y 13). Los altos flujos de amoníaco (NH₃) durante la época 1 en la *T* y *EC*, pueden ser un indicio del intercambio de nutrientes entre el humedal y el bosque.

Igualmente, se observó una fuerte correspondencia positiva entre los flujos del amoníaco (NH₃) con la concentración del mismo, en los tres procesos (*P*: p=1,000;

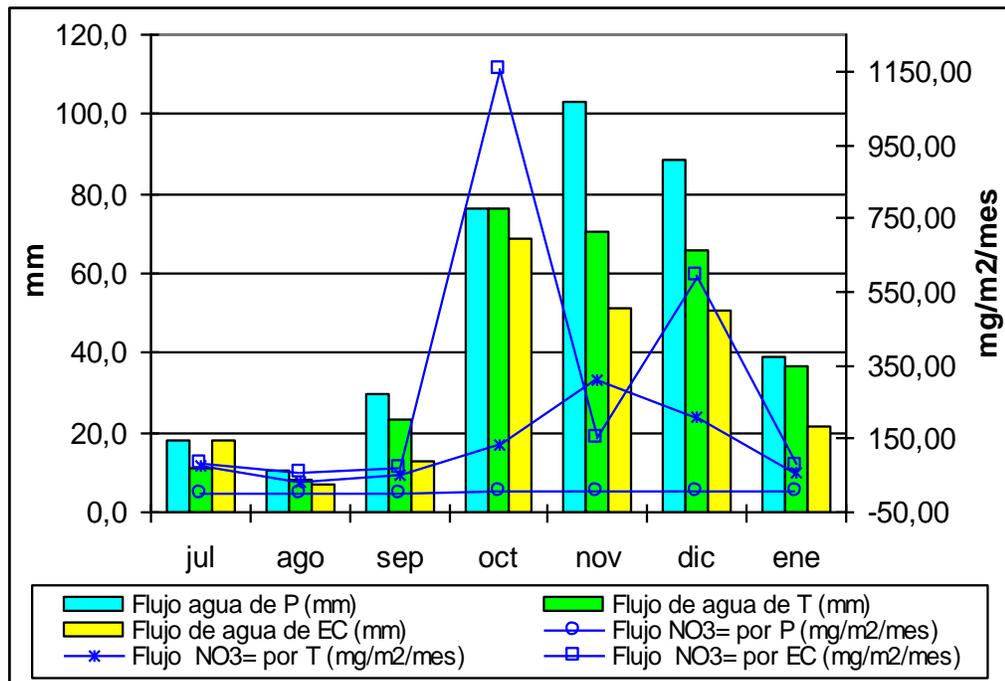
$T:p=0,815$; $EC:p=0,864$) en ambas épocas (ver anexo 26). Hubo una correlación negativa no significativa con el volumen ($p>0,05$) ($P: p=-0,056$; $T:p=-0,292$; $EC:p:0,065$).

La fuerte correspondencia positiva entre los flujos de amoníaco (NH_3) y su concentración, en comparación con la escasa correlación con el volumen, podrían explicar que el sobresaliente incremento del flujo de T durante el mes de septiembre fue debido al incremento en la concentración, más que al volumen, si además, se tiene en cuenta que este mes forma parte de la época 1, que corresponde a la de lluvias escasas.

Estos resultados revelan que la fuente del amonio (NH_3) es de carácter local por su volatilización desde el humedal y a causa de las actividades agrícolas y ganaderas de la zona, y que el dosel arbóreo juega un importante papel como receptor – acumulador de amoníaco (NH_3), especialmente en las épocas de lluvias escasas.

6.4.3. Flujo del nitrato (NO_3^-)

Figura 34. Flujo mensual del nitrato (NO_3^-) ($mg/m^2/mes$) en los procesos de P, T y EC (mm)



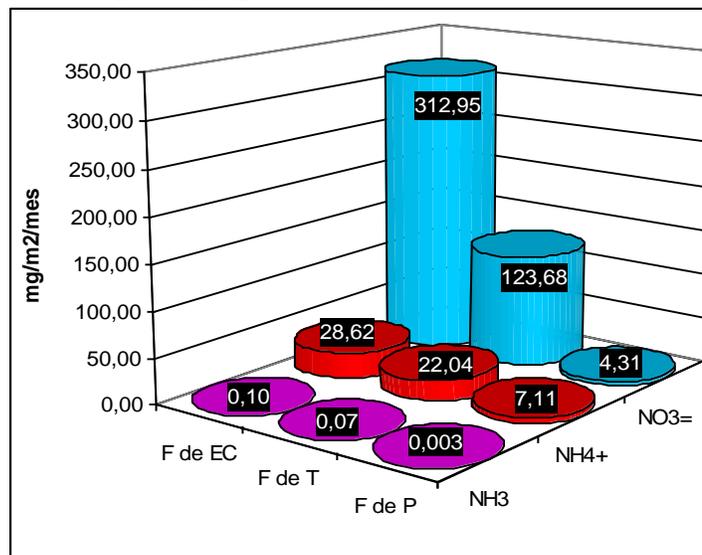
El mayor flujo promedio mensual de nitrato (NO_3^-) fue de 312,95 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$, por parte de la *EC*; seguido de la *T* (123,68 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) y *P* (4,31 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) (ver figura 35). Los aportes totales de nitrato (NO_3^-) se dieron en su orden por: *EC*, con 2190,62 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; *T* con 865,73 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; y *P* con 30,15 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$.

Comparando las épocas, los principales aportes de nitrato (NO_3^-) se observaron en la época 2 (*P*= 5,67 mg/m^2 ; *T*= 177,24 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$ y *EC*= 494,51 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) (ver anexo 14).

El flujo del nitrato (NO_3^-) en la precipitación tuvo una correlación positiva significativa con la concentración del nitrato (NO_3^-) ($p=0,800$), y una correlación negativa poco significativa con el volumen de *P* ($-0,233$), durante la época 1 (ver anexo 23). Mientras que en la *T* y *EC*, la correspondencia fue mayor con el volumen (*T*: $p=0,478$; *EC*: $p=0,857$). Esto permite explicar porque durante el mes de octubre cuando el volumen de *EC* fue el más elevado de todo el periodo de muestreo, el flujo se incrementó considerablemente. En la época 2, el flujo del nitrato (NO_3^-) se correlacionó positivamente con la concentración; en la *T* y *EC* (ver anexos 24 y 25).

6.4.4. Flujos promedio totales

Figura 35. Flujos promedio totales del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) por *P*, *T* y *EC* ($\text{mg/m}^2/\text{mes}$)

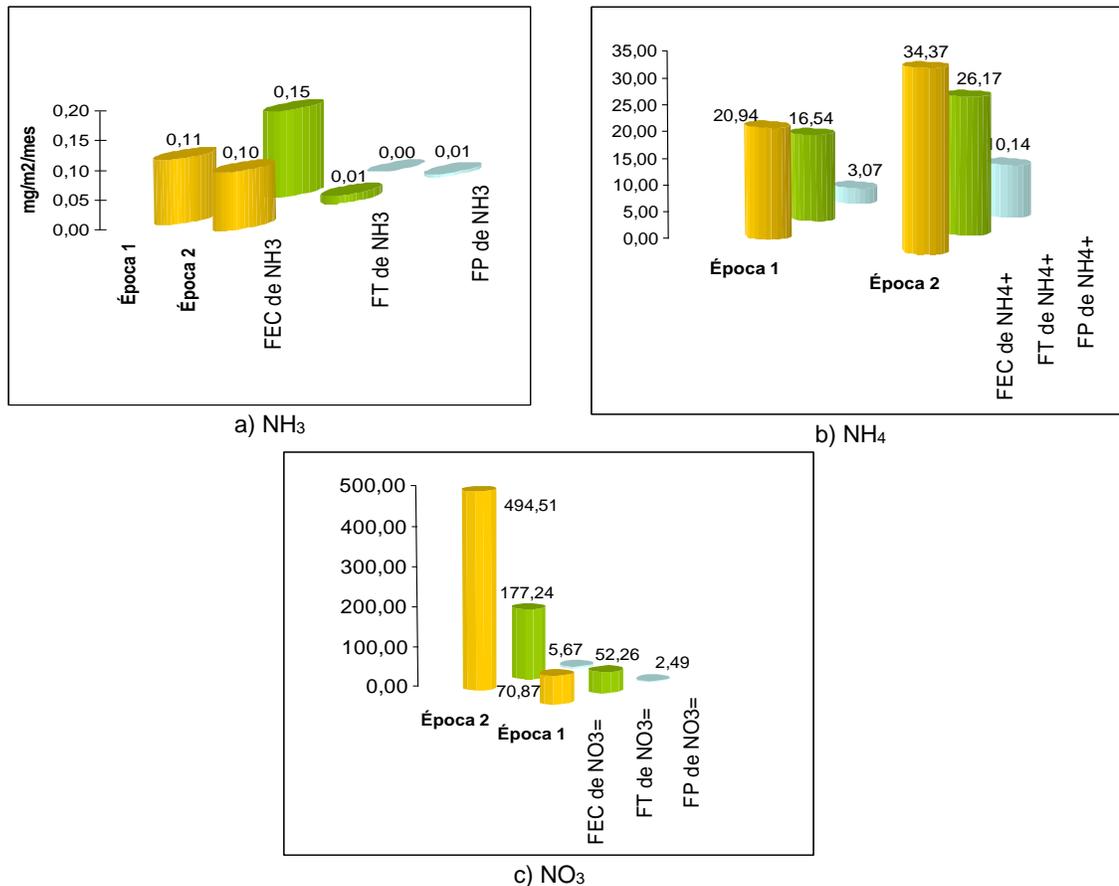


El nitrato (NO_3^-) fue el compuesto de nitrógeno que presentó los flujos más elevados en la *T* (123,68 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) y *EC* (312,95 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$). Mientras que el amonio (NH_4^+) fue mayormente aportado por *P* (ver figura 35).

Al comparar todos los procesos es evidente que los mayores aportes de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), se dieron a través del dosel, principalmente por *EC*, y el nitrato (NO_3^-) fue el compuesto de mayor flujo.

El amonio (NH_4^+) fue mayor en la precipitación con relación al nitrato (NO_3^-). La prueba de ANOVA, revela que en el flujo por precipitación se presentaron diferencias significativas de una época a otra (ver anexo 21), lo cual indicaría que los aportes de amonio (NH_4^+) son de origen local (figura 36). El incremento del volumen de *P* favorece un mayor flujo de amonio (NH_4^+) por esta vía, pese a la disminución de su concentración en la época 2.

Figura 36. Flujos totales de NH_4^+ , NH_3 y NO_3^- por épocas de lluvias.



A continuación (ver tabla 14) se presenta el resumen de los aportes de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-), que a través de los procesos hidrológicos de *EC* y *T*, se dieron del bosque hacia el humedal adyacente. Estos valores están dados para un área de bosque de 0.3059 Ha, y un humedal de 1,4051 Ha, durante un periodo de siete meses.

Tabla 14. Resumen de los aportes de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) por *EC* y *T* a través del dosel

Aportes Procesos	<i>Escorrentía Cortical</i>	<i>Trascolación</i>
(NO_3^-) (mg/m ² /mes)	312,95	123,68
(NH_4^+) (mg/m ² /mes)	28,62	22,04
(NH_3) (mg/m ² /mes)	0,10	0,07

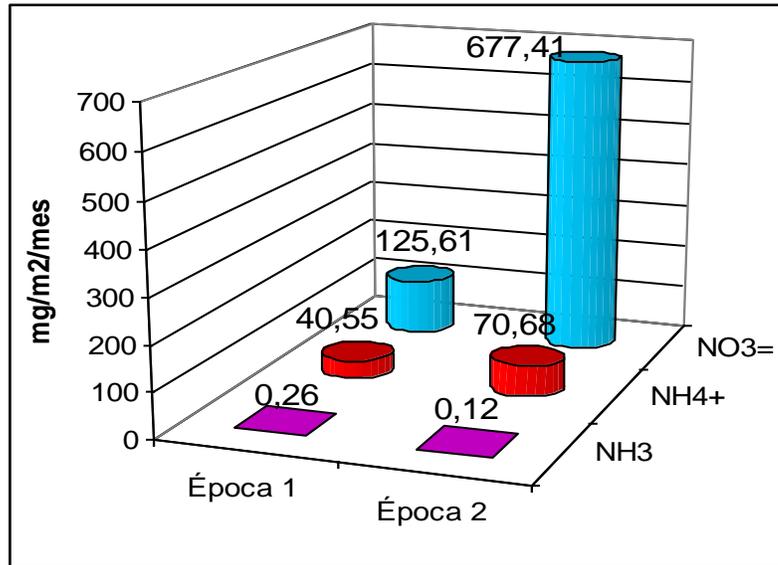
Por *precipitación*, al humedal llegaron los siguientes aportes:

Tabla 15. Resumen de los aportes de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) y amoníaco (NH_3) por *P*

Aportes Procesos	(NH_4^+) (mg/m²/mes)	(NO_3^-) (mg/m²/mes)	(NH_3) (mg/m²/mes)
<i>Precipitación</i>	7,11	4,31	0,00

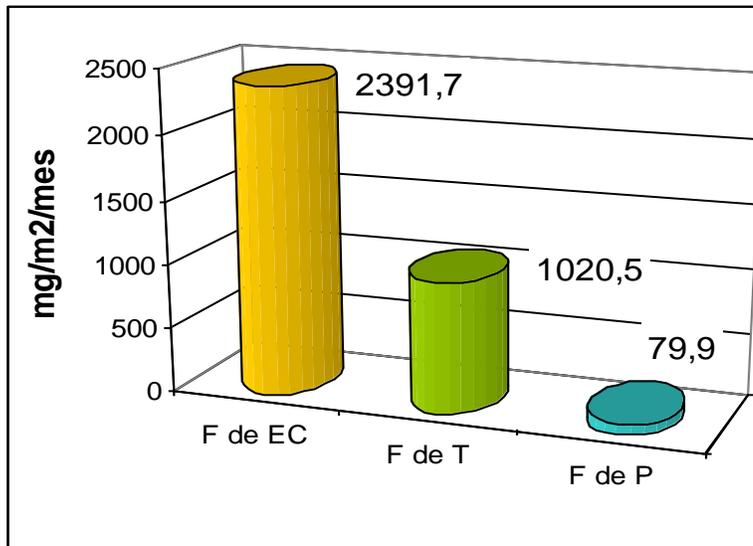
De acuerdo a las épocas de lluvias, se presentó un mayor flujo de los compuestos de nitrógeno en la época 2 (figura 37), cuando las lluvias fueron más intensas, de mayor duración y frecuencia que la época 1, lo cual pudo haber favorecido el incremento en el flujo de los compuestos. Durante las dos épocas el flujo del nitrato (NO_3^-) estuvo por encima de los de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3).

Figura 37. Flujo total de los compuestos de nitrógeno por épocas de lluvias



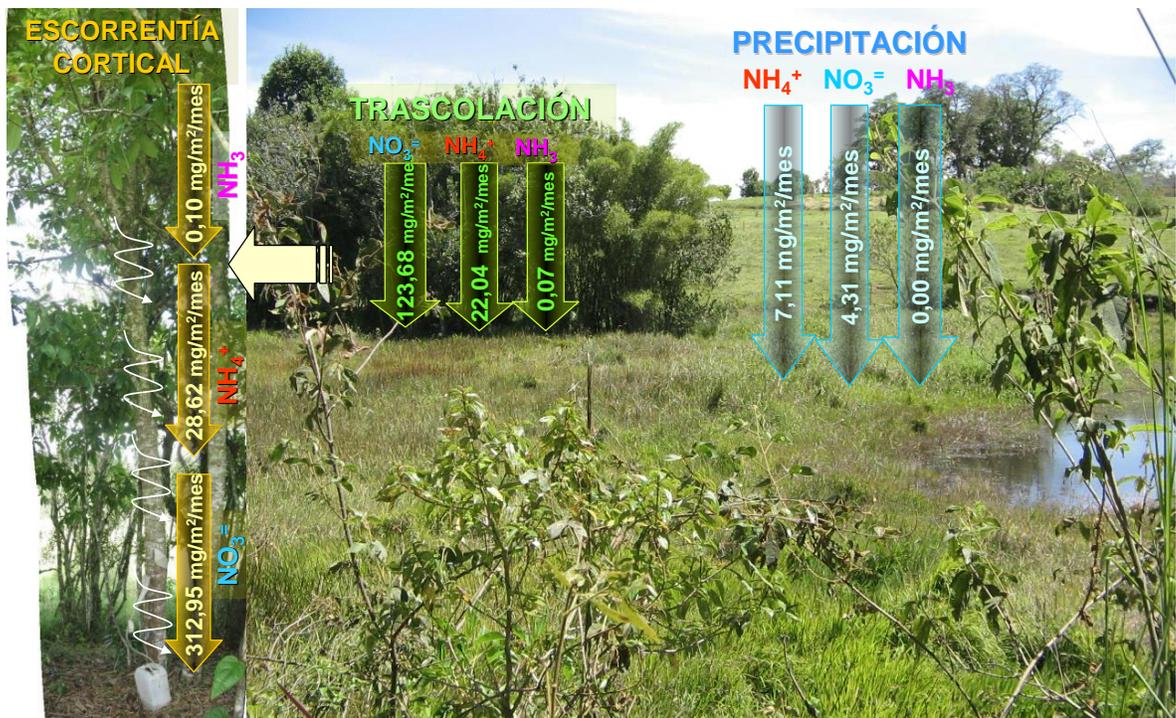
El flujo total de compuestos de nitrógeno fue de 2391,61 mg/m²/mes por *EC*; 1020,52 mg/m²/mes por *T*; y 79,92 mg/m²/mes por *P*, cuyos valores corresponden a la sumatoria de los flujos promedio totales del amonio (NH₄⁺), amoníaco (NH₃) y nitrato (NO₃⁼) por cada proceso.

Figura 38. Flujo total de los compuestos de nitrógeno por procesos



Con base en los flujos calculados, fue posible generar un modelo aproximado de los flujos promedio de entrada del nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), por los procesos de *P*, *T* y *EC*, a través del dosel arbóreo hacia el humedal (ver figura 38), como una manera de perfilar como funciona el intercambio de energía entre un humedal con los ecosistemas adyacentes, en este caso, un área de bosque.

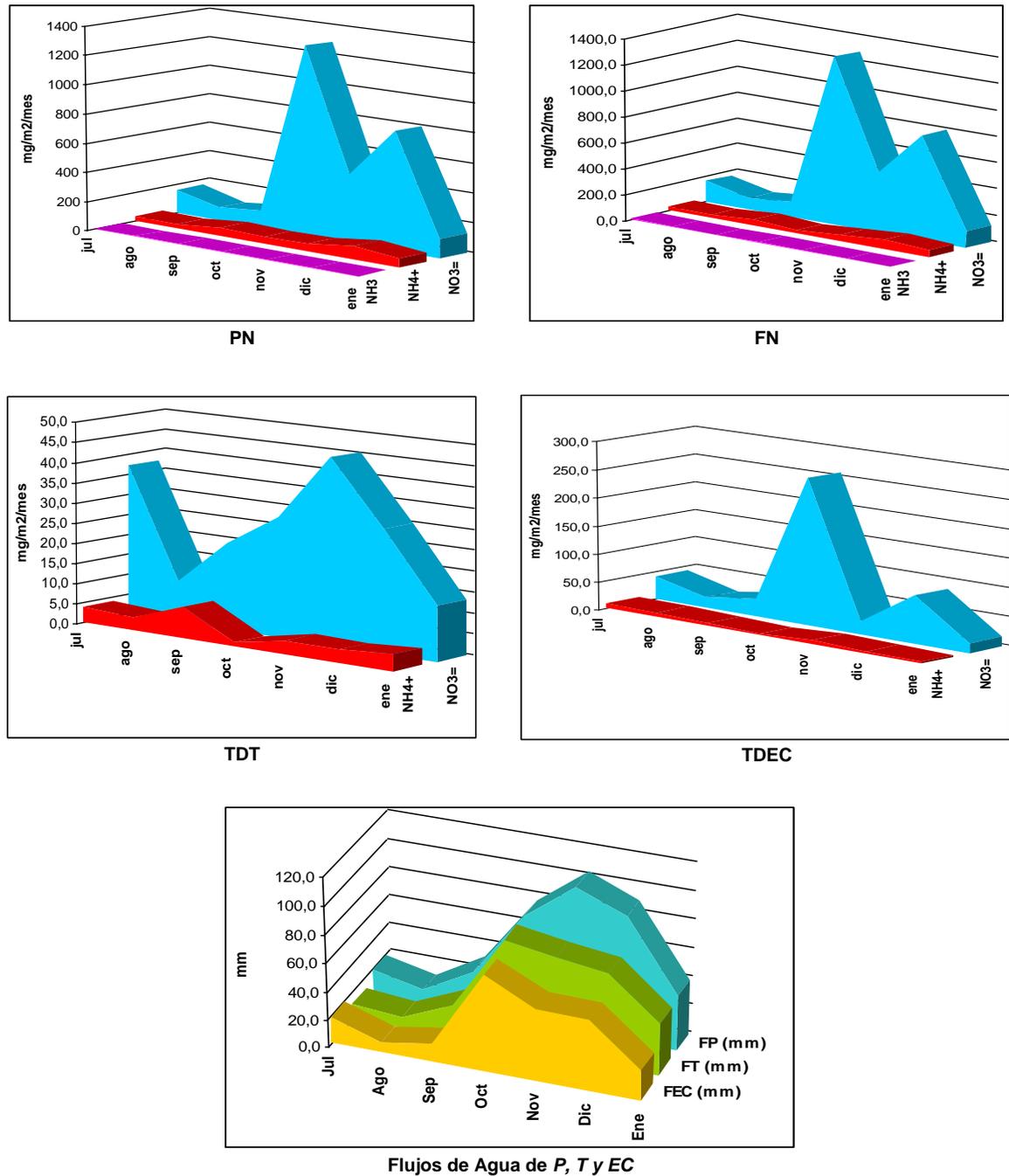
Figura 39. Modelo aproximado de los flujos de entrada del nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), por procesos hidrológicos del dosel arbóreo hacia el humedal, hacienda El Manzanar.



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2005. Copyright.

6.4.5. Precipitación neta, flujos netos y tasas de deposición

Figura 40. Precipitación neta, flujos netos y tasas de deposición de los compuestos de nitrógeno Vs. flujos de agua de P, T y EC



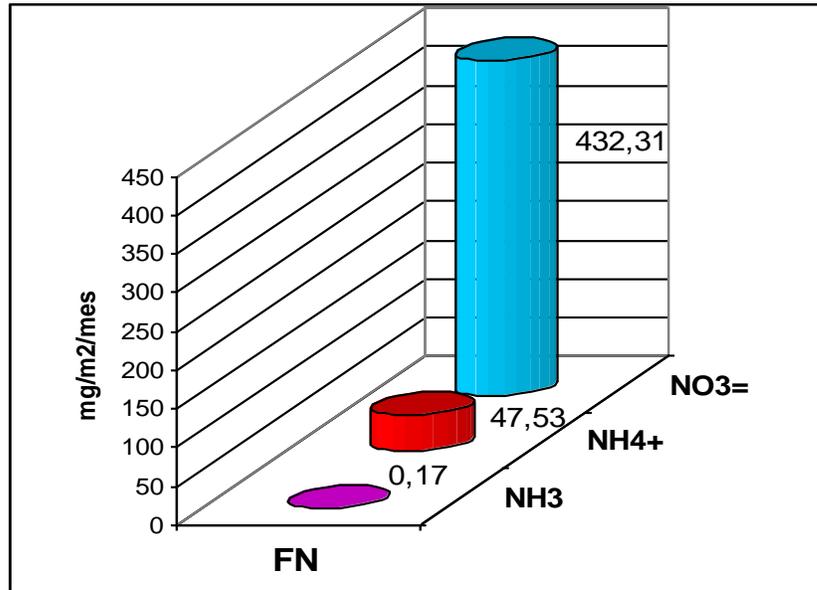
Con el propósito de determinar el efecto del dosel arbóreo sobre los flujos de los compuestos de nitrógeno, para cada uno de ellos, se calcularon: la precipitación neta ($PN=FT + FEC$), flujo neto ($FN= FT + FEC - FP$), tasa de depositación de trascolación Vs. precipitación ($TDT= FT/FP$), y la tasa de depositación de escorrentía cortical Vs. precipitación ($TDEC= FEC/FP$) (ver figura 39).

Por precipitación neta fueron aportados al suelo del bosque adyacente al humedal, 436,6 mg/m²/mes de nitrato (NO_3^-), 55,3 mg/m²/mes de amonio (NH_4^+) y 0,2 de amoníaco (NH_3) (ver anexo 27). Los aportes de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) fueron mayores durante la época 2. El amoníaco (NH_3) aportó principalmente en la época 1.

El flujo neto total de los compuestos en todos los casos fue positivo, lo cual supone que el depósito seco atrapado por el follaje y el tallo de los árboles, fue lavado constantemente. En futuras investigaciones, es muy importante considerar la determinación del depósito húmedo y seco, de los compuestos de nitrógeno y complementarlos con cationes como el potasio, magnesio, calcio y sodio.

Durante todo el periodo de muestreo, el nitrato (NO_3^-) fue el compuesto que presentó el mayor flujo neto promedio (ver figura 41), lo cual indica que este compuesto fue constantemente depositado desde la atmósfera sobre el dosel de los árboles y se asume que sea principalmente de origen volcánico y por volatilización desde la zanja de aguas residuales proveniente de la cárcel San Isidro.

Figura 41. Flujo neto del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-)



Las correlaciones entre los flujos netos y los volúmenes de *P*, dieron como resultado correspondencias positivas pero no significativas para el nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) (ver tabla 16). El flujo neto del amoníaco (NH_3) fue negativo aunque no significativo. Es decir que el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) se incrementan en el dosel del bosque en la medida que el volumen de precipitación se incrementa.

Tabla 16. Correlación de Spearman para los flujos netos Vs. volumen de precipitación.

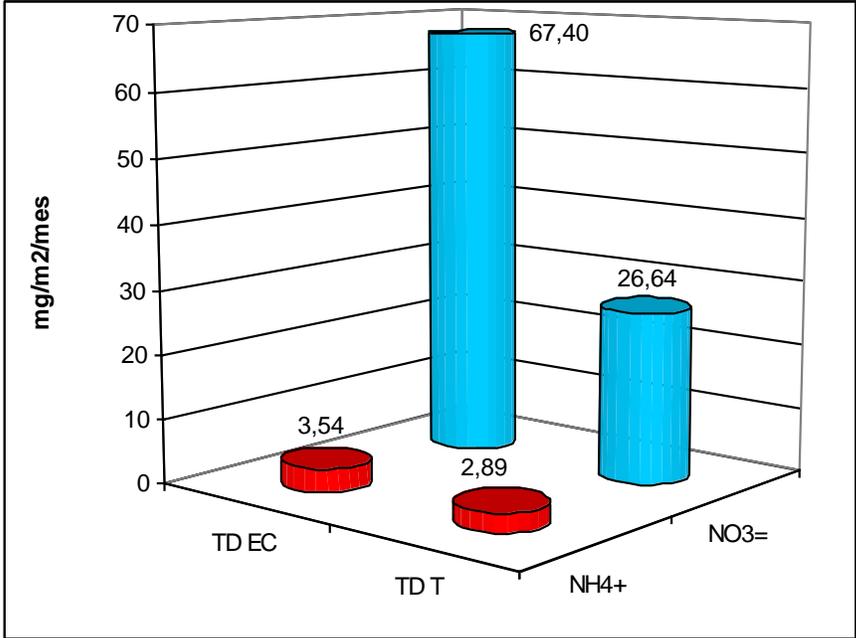
	Vol. P (mm)	FN - NO_3^-	FN - NH_4^+	FN - NH_3
Vol. P (mm)	1,000	,750	,500	-,060
FN - NO_3^-	,750	1,000	,179	-,239
FN - NH_4^+	,500	,179	1,000	,060
FN - NH_3	-,060	-,239	,060	1,000

El flujo neto de todos los compuestos de amonio fue muy elevado con relación al flujo por precipitación. Los aportes por *EC* podría ser el proceso más importante para que se haya dado este enriquecimiento a través del dosel, si se tiene en cuenta que la cantidad de biomasa arbórea por área se concentra cerca del tallo (Raaijmakers, K.J. et al, 2002) y por lo tanto, donde se atrapa gran cantidad de depósito seco y húmedo. Se debe considerar que los árboles muestreados fueron más altos, de mayor DAP y altura del fuste, en comparación con los de *T*. Además, el tipo de corteza, la presencia de epífitas, de insectos, y la descomposición de estos, sumado a la lluvia horizontal, son entre otros, factores que pueden haber incrementado el flujo neto de *EC*.

Teniendo en cuenta los flujos de agua, el dosel intercepta parte de la *P*, y el resto llega al suelo por *T* o *EC*. Al comparar este hecho con los flujos netos, se sugiere a la depositación seca como principal aportante de estos compuestos. Sin embargo, esta aseveración amerita un estudio de comprobación.

Las mayores tasas de depositación fueron por *EC* (ver figura 42). El nitrato (NO_3^-) se depositó 67,4 veces más por *EC*, que por *P*, y 26,64 veces por *T* que por *P*. En cuanto al amonio (NH_4^+), este se depositó a una tasa de 3,54 veces *EC* y de 2,89 veces por *T*, por encima de la *P*. Este cálculo no fue posible realizarlo para el amoníaco (NH_3) debido a que este compuesto tuvo valores de 0,000 en el flujo de precipitación, que en la fórmula corresponde al denominador.

Figura 42. Tasas de depositación del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) por T y EC



7. DISCUSIÓN

7.1. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO EN LA PRECIPITACIÓN (*P*), TRASCOLACIÓN (*T*) Y ESCORRENTÍA CORTICAL (*EC*)¹⁰

El área circundante al humedal está conformada principalmente por pastizales dedicados a la ganadería extensiva y en menor porcentaje a la agricultura.

Diversos estudios demuestran que estas actividades son fuentes muy importantes en la emisión de amoníaco (NH_3), óxidos de nitrógeno y metano hacia la atmósfera (Asman, Drukker & Janssen, 1988; Webb, 2001; Willem, et al, 1998; Hartung, Monteny & Monteny, 2000; Draaijers, 1993), los cuales en altas concentraciones tienen una gran incidencia sobre el efecto invernadero y pueden contribuir a la eutrofización y acidificación de ecosistemas oligotróficos (Sommer & Hutchings, 1995).

En áreas donde se practica la ganadería intensiva, la cantidad de estiércol producido es mayor, lo cual se constituye en una considerable fuente de producción de los citados compuestos (Dragosits, *et al.*, 2002), principalmente, debido a la rápida hidrólisis de la urea excretada por el ganado.

La cantidad volatilizada de los compuestos de nitrógeno no fue determinada en el presente estudio; sin embargo, por direccionar el proceso de emisión del amonio (NH_4^+) hacia la atmósfera, su incidencia se da por supuesta, como se explica a continuación:

La volatilización desde la superficie del estiércol del ganado o desde el suelo está influenciada por una gran cantidad de factores químicos, biológicos y físicos que incrementan la complejidad de este proceso. La urea es hidrolizada a carbonato de amonio (NH_4^+) en unos pocos días, lo que puede incrementar el pH del suelo, de tal modo que ayuda a la volatilización del amoníaco (NH_3); la cual también se

¹⁰ P=Precipitación; T=Trascolación; EC=Escorrentía cortical.

incrementa por el calentamiento del suelo y por la escasa capacidad de intercambio catiónico del suelo (Whitehead, 1990).

Teniendo en cuenta lo anterior, durante la época 1, el incremento de la radiación solar, cuya concentración entre los meses de julio y agosto presenta un valor histórico máximo de 180 horas mensuales (Alcaldía de Popayán, 1999), pudo haber contribuido a la volatilización del amoníaco (NH_3) e incrementar la concentración de este compuesto durante los meses de julio a septiembre la T (julio = 0,012 mg/L; agosto = 0,004 mg/L; septiembre = 0,027 mg/L) y EC (julio = 0,039 mg/L; agosto = 0,011 mg/L; septiembre = 0,014 mg/L).

Schlesinger y Hartley (1992), determinaron que la depositación global del amonio (NH_4^+) desde la atmósfera, coincide con la fuente anual de amoníaco (NH_3) total, puesto que el amonio (NH_4^+) es un medio por el cual el amoníaco (NH_3) retorna a la superficie mediante depositación húmeda (Willem, et al, 1998). Desde que el amonio (NH_4^+) es emitido en formas acuosas altamente solubles, es gradualmente depositado cerca de la fuente. La estrecha relación entre el amonio (NH_4^+) y el amoníaco (NH_3) fue evidente durante todo el periodo de muestreo. Los dos compuestos presentaron un comportamiento temporal muy similar en todos los procesos, principalmente en la T y EC ; lo cual se comprueba en las correlaciones positivas altísimamente significativas.

En la época 1, cuando las actividades agrícolas y ganaderas se incrementaron por unas mejores condiciones climáticas, las concentraciones de los dos compuestos fueron mayores que en la época 2.

En esta época de incremento de lluvias, la concentración de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), disminuyó como resultado de dos posibles situaciones:

- ⊗ Por la afectación de la fuente de emisión local (estiércol del ganado y fertilizantes agrícolas), como producto de las restricciones climáticas para la ejecución de las actividades ganaderas y agrícolas.
- ⊗ Por el lavado atmosférico constante de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), debido a las lluvias frecuentes y de larga duración.

Las correlaciones del amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) muestran que en la época 1, la correlación positiva fue más significativa en la T ($p=0,898$) y EC ($p=0,926$),

que en la época 2 (T : $p=0,640$; EC : $p=0,784$). El incremento de las lluvias podría haber facilitado el retorno del amoníaco (NH_3) a la superficie en forma de amonio (NH_4^+), debido a elevada solubilidad de este último, disminuyendo la disponibilidad del amoníaco (NH_3) para ser precipitado por depositación seca y/o húmeda. Esta situación explicaría la disminución de correspondencia entre los dos compuestos hacia la época 2.

El amonio (NH_4^+) es el compuesto básico dominante en la atmósfera y forma sales con gases ácidos. Estas partículas salinas pueden ser transportadas a grandes distancias especialmente en ausencia de nubes (Ferm, 1998). Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que durante la época de lluvias escasas (época 1), cuando la presencia de nubes fue reducida, hubo una mayor concentración de los compuestos de nitrógeno, con relación a la época de lluvias abundantes (época 2).

Las mayores concentraciones de amoníaco (NH_3) ($P=0,000$ mg/L; $T=0,004$ mg/L; $EC=0,008$ mg/L), amonio (NH_4^+) ($P=0,179$ mg/L; $T=0,843$ mg/L; $EC=1,259$ mg/L) y nitrato (NO_3^-) ($P=0,434$ mg/L; $T=3,307$ mg/L; $EC=5,332$ mg/L) en los procesos de EC y T respecto a la P , es un indicativo que la fuente local de estos compuestos es principalmente la ganadería y la agricultura; y que el bosque contiguo al humedal está actuando como una barrera viva que retiene la depositación húmeda y seca de estos compuestos, controlando su ingreso hacia el humedal. La textura de la corteza del tallo y de las ramas de los árboles, el área foliar, al igual que las epífitas alojadas, serían en buena parte, responsables de la retención de los compuestos de nitrógeno.

Además de las fuentes de emisión relacionadas con las actividades humanas, se debe tener en cuenta las transformaciones que sufre el nitrógeno al interior de un humedal (Mitsch y Gosselink, 1993). En la época 1, a causa de las prevalecientes temperaturas, probablemente promovieron la volatilización de amoníaco (NH_3) desde el humedal (Asman, 1992 citado por Devlaeminck, 2005). Mientras que en la época 2 el agua superficial del humedal alcanzó su mayor nivel e incluso inundando el bosque. En estas condiciones, el suelo del humedal y del bosque estuvo reducido, incrementando la disponibilidad de amonio (NH_4^+) en el suelo del bosque y en esta medida su emisión hacia la atmósfera, donde fue lavado constantemente.

El amoníaco (NH_3) como especie alcalina atmosférica, emitida a la atmósfera cada año, puede neutralizar alrededor del 32% de la producción anual de hidrogeniones (H^+) en la atmósfera, a partir de fuentes naturales y antrópicas (Schlesinger & Hartley, 1992). Comparando los valores totales de pH de la P (5,35 unidades), T (6,23 unidades) y EC (6,46 unidades), es evidente el efecto del dosel para

neutralizar los compuestos ácidos depositados a través de la precipitación, indicando que el bosque actúa como barrera viva protectora que neutraliza el efecto de dichos compuestos sobre el humedal; y teniendo en cuenta lo anterior, se puede considerar que el amoníaco (NH_3) depositado sobre el dosel estaría contribuyendo en tal proceso, como se explica en las figuras 24, 25 y 26.

En este punto, resulta conveniente considerar la influencia del epifitismo, los exudados producidos por los individuos de algunas especies (específicamente *Alchornea Sp.*) (Murillo, 2004) y la capacidad de retención de nutrientes básicos de la precipitación horizontal (que depende específicamente de la textura de la corteza), entre otros, como posibles factores que contribuyen a neutralizar los compuestos ácidos depositados sobre el dosel arbóreo (Schlesinger, 2000).

En cuanto a la influencia del epifitismo sobre las concentraciones de los compuestos de nitrógeno, se resaltan los estudios realizados por Hölscher y otros (2004) en Costa Rica, donde bajo condiciones de prevalencia de lluvias, solo una fracción del almacenamiento potencial de agua está disponible, es decir, que la importancia hidrológica de las epífitas puede estar bastante limitada. Sin embargo, es necesario realizar estudios de este tipo a nivel local y regional para determinar la incidencia real de las epífitas sobre la entrada de nutrientes a los humedales, a través de los procesos hidrológicos de los bosques adyacentes.

Los individuos de las especies muestreadas: *Alchornea Sp.* y *Heliocarpus americanus*, presentaron un mayor DAP y altura de fuste. Los individuos de *Alchornea Sp.* ostentaron la mayor área de proyección de la copa. Las altas concentraciones de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) por EC, están asociadas con aquellos individuos arbóreos que contaron con altura, DAP y altura de fuste mayores que los de *T.* Aunque los individuos de este último proceso, tuvieron en promedio mayor área de copa y epifitismo que los de EC.

En el mes de septiembre se observó un sobresaliente incremento en la concentración de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) en el proceso de *T.* Los resultados no procesados estadísticamente mostraron que los datos que originaban los altos valores promedio correspondían al colector T07 (ver anexo 28 enmarcado en color rojo), instalado en la especie *Alchornea sp.*, que se caracteriza por la producción de exudados. Sin embargo, se necesitaría un estudio más detallado de esta especie, para poder comprobar la incidencia de sus exudados sobre la composición química de la *T* y *EC*; porque en los demás colectores de *T*, instalados en individuos de la misma especie no se presentó dicha situación. Los resultados de campo y de laboratorio revelaron que presentó un bajo volumen de captación (12,90 mm), pH neutro (7,56), conductividad

(124,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y TDS (0,081 g/L) muy elevados y altas concentraciones de los compuestos de nitrógeno ($\text{NH}_4^+=6,809$ mg/L; $\text{NH}_3=0,168$ mg/L; $\text{NO}_3^-=8,070$ mg/L).

De acuerdo a estos datos se puede considerar durante el periodo de lluvias escasas, un posible incremento de la depositación seca retenida sobre el dosel arbóreo. En este caso el arrastre de compuestos de nitrógeno y otros nutrientes no determinados, pudo haberse dado en mayor concentración con relación al disminuido volumen de agua de *T* y *EC*, teniendo en cuenta que en los procesos de dilución, por lo general, la concentración de los iones se relaciona inversamente con el volumen del agua de lluvia que precipita (Burbano, M., 2003).

Ello podría explicar por qué en determinados individuos arbóreos de *Alchornea* sp., donde se ubicaron colectores de *T*, como el de código *T07*, la retención de los compuestos de nitrógeno por parte del dosel arbóreo haya sido muy alta, con relación al volumen de agua de *T*. Con base en lo anterior, se decidió incluir el dato del colector *T07* del mes de septiembre, considerando que al igual que los demás colectores de *T*, se siguieron los mismos protocolos para la obtención de la muestra, transporte y análisis de laboratorio, y para resaltar que las diferencias en la fisiología de cada individuo de la misma especie arbórea pueden incidir en la composición química de los procesos de entrada de nutrientes como la *T* y la *EC* (Steinbuck, 2002).

El nitrato (NO_3) fuera de ser el compuesto de nitrógeno con las más altas concentraciones en todos los procesos, fue el de mayor variabilidad durante todo el periodo de muestreo, específicamente en los procesos de *EC* y *T*. La variación más marcada se presentó entre los meses de noviembre a enero, puesto que en diciembre hubo un incremento exagerado del nitrato (NO_3) en la *EC* (10,937 mg/L), en comparación con las bajas concentraciones de nitrato (NO_3) en la *P* (0,092 mg/L) y en la *T* (3,926 mg/L). Los datos sin procesar (ver anexo 28) indican como las altas concentraciones de nitrato (NO_3) se presentaron en todos los colectores de *EC* del total de muestras recogidas durante diciembre. El volumen de captación durante este mes fue de 50,61 mm, correspondiente al 57% de la *P*, lo cual estaría indicando una retención del 43% del volumen de agua incidente sobre el dosel, por parte de la corteza del tallo y la cobertura epifítica alojada sobre el. Estudios realizados en zonas templadas (Levia, D. & Herwitz, S., 2000), indican que el enriquecimiento de nutrientes por *EC*, está relacionada con algunas propiedades físicas que alargan el tiempo de residencia de la precipitación interceptada sobre la corteza del tallo y promueven la concentración de nutrientes provenientes de las ramas inclinadas. Las propiedades físicas a las que se hace referencia son las bajas temperaturas del aire y el incremento de la viscosidad cinemática y de la tensión superficial del drenaje de la *EC*.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es posible que ciertas propiedades físicas relacionadas con las condiciones climáticas que predominaron durante este mes hayan favorecido la mayor retención de nitrato (NO_3) sobre la corteza arbórea; sumado a que las bajas o altas concentraciones de los nutrientes en la *EC*, es el resultado de las bajas o altas concentraciones en la corteza debido a una absorción reducida o incrementada por parte de esta (Haukc, 2003). Esto se debe a que la rugosidad de la corteza, influye sobre la cantidad de precipitación retenida antes de escurrir como *EC* (Steinbuck, 2002).

En cuanto a las variables complementarias, conductividad, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad, presentaron valores muy elevados en todos los procesos, durante la época 1, y específicamente en el mes de agosto (*conductividad*: $P=15,80 \mu\text{S}/\text{cm}$, $T=102,00 \mu\text{S}/\text{cm}$, $EC=213,00 \mu\text{S}/\text{cm}$; *TDS*: $P=0,010 \text{ g}/\text{L}$, $T=0,066 \text{ g}/\text{L}$, $EC=0,139 \text{ g}/\text{L}$; *salinidad*: $P=0,005 \text{ ppt}$, $T=0,050 \text{ ppt}$, $EC=0,100 \text{ ppt}$), cuando la depositación seca se pudo haber incrementado por efecto de la disminución del lavado atmosférico constante, de tal manera que durante los escasos eventos de lluvia, se incrementaron los TDS y la salinidad, principalmente en la *T* y *EC*, como resultado del arrastre de minerales y componentes iónicos depositados sobre el follaje y la superficie del tallo.

Este efecto se puede observar en el color aparente del agua de *P*, *T* y *EC*, siendo en su orden, más intenso en la *EC* y *T* que en la *P* (ver figura 43), e igualmente de los meses que comprenden la época 1 a los de la época 2.

Figura 43. Color aparente del agua de *P*, *T* y *EC* durante el periodo de muestreo



Fuente: Burbano Garcés, M. L., 2006. Copyright.

A menos de 200 metros del humedal y el bosque, se ubica una zanja de aguas residuales provenientes de la Cárcel San Isidro. A esta zanja vierte las aguas el riachuelo originado en el humedal partir de sus dos áreas de descarga. La proximidad del bosque a esta zanja de aguas residuales, sugiere que una parte de

los compuestos de nitrógeno depositados sobre el follaje arbóreo se emitieron desde esta zanja.

Se consideran las fuentes antrópicas móviles, como posibles aportantes de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-), teniendo en cuenta la relativa cercanía de la hacienda El Manzanar a la vía Panamericana. Se descarta la incidencia de fuentes industriales en la zona.

A escala regional, se puede considerar una entrada constante de nitrógeno por *P* durante las dos épocas, posiblemente por depositación atmosférica de origen volcánico y marino, dada la cercanía a la Cadena Volcánica de los Coconucos y el Océano Pacífico, respectivamente.

En un estudio realizado por Burbano (2003), en la sensibilidad a la lluvia ácida en la ciudad de Popayán, señala que de acuerdo con la Rosa de los Vientos para la ciudad de Popayán, los vientos predominantes llevan una dirección SW-NE y W-E. Es decir que a escala regional los precursores de los compuestos ácidos contenidos en el agua de lluvia de la ciudad de Popayán proceden, principalmente del Océano Pacífico y de la Cadena Volcánica de Los Coconucos. Respecto a la fuente marina, como origen de los iones SO_4^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ y Ca^{2+} , entre otros; y en cuanto a la fuente volcánica, como emisora de los compuestos nitrados, azufrados y clorados.

7.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA *P*, *T* y *EC*

La distribución temporal de los flujos de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) fue muy similar, principalmente en la *T* y *EC*, como se observa en las figuras 32 y 33. En los dos casos hubo un significativo incremento durante el mes de septiembre en el proceso de *T*. Este valor está muy relacionado con las concentraciones de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3) reportadas en el individuo de *Alchornea sp.*, donde se ubicó el colector *T07* (como se explicó en el apartado anterior); el cual se caracterizó porque la muestra tuvo un bajo volumen de captación (12,90 mm), pH neutro (7,56), conductividad (124,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y TDS (0,081 g/L) muy elevados y altas concentraciones de los compuestos de nitrógeno ($\text{NH}_4^+=6,809$ mg/L; $\text{NH}_3=0,168$ mg/L; $\text{NO}_3^-=8,070$ mg/L).

El flujo de amoníaco (NH_3) en la época 1 fue mayor al de la época 2, en la T (0,15 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) y EC (0,11 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$). Mientras que el amonio (NH_4^+) y el nitrato (NO_3^-), presentaron flujos superiores en la época 2. El mayor flujo de amoníaco (NH_3) en la época 1, principalmente por T , pudo deberse a una mayor depositación seca de este compuesto por efecto del incremento de las fuentes de emisión, debido a que las actividades ganaderas y agrícolas de la zona, se intensifican durante las épocas de lluvias escasas. Las correlaciones así lo indican: puesto que en la época 1, la correspondencia del flujo de amoníaco (NH_3) es positiva y altamente significativa con su concentración (T : $p=0.881$) respecto al volumen (T : $p=0,005$).

De acuerdo a lo observado en la figura 35, el flujo total del nitrato (NO_3^-) en todos los procesos ($EC=312,95$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; $T=123,68$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; $P=4,31$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) estuvo muy por encima del amonio (NH_4^+) ($EC=28,62$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; $T=22,04$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; $P=7,11$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) y amoníaco (NH_3) ($EC=0,10$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; $T=0,07$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$; $P=0,00$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$). Son notables los elevados flujos de nitrato en la precipitación neta ($T + EC = 463,6$ $\text{mg/m}^2/\text{mes}$) respecto a la P (4,31 $\text{mg/m}^2/\text{mes}$), y como los flujos netos ($T+EC-P$) del nitrato (NO_3^-) y los otros compuestos de nitrógeno, durante todos los meses de muestreo fueron positivos. De haber sido negativos hubiesen indicado el consumo total de estos compuestos en el dosel (Lovett & Lindberg, 1993).

Las tasas de depositación por T y EC del nitrato (NO_3^-) fueron muy elevadas en comparación con las del amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), durante todo el periodo de muestreo, pero especialmente durante la época 2, cuando este compuesto fue lavado en mayor proporción del dosel arbóreo debido al incremento de las lluvias, como se observa en la figura 40.

Lo anterior pone en evidencia que existe un enriquecimiento de los compuestos de nitrógeno a su paso por el dosel arbóreo, lo cual podría ser explicado bajo las siguientes premisas:

- ⊗ La elevada depositación de nitrato sobre el dosel arbóreo, por influencia de las actividades ganaderas y agrícolas desarrolladas en la zona.

- ⊗ Las contribuciones de algunas especies arbóreas (como *Alchornea sp.*), como producto de sus exudados.

⊗ El efecto del drenaje producido por la cubierta de briófitas después de los eventos de lluvia, pudo haber influido en los flujos de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) de los procesos de *T* y *EC*, por el arrastre de estos compuestos, en la medida que el agua de *T* y *EC* drenó a través de las ramas y el tallo, respectivamente. Veneklaas y Van Ek (1990, citado por Van Ek, 1995) demostraron que la cubierta de briófitas (especialmente las agrupadas cerca del tallo del árbol de *Weinmannia*) cuando saturó tuvo un efecto favorable sobre el drenaje, el cual, permaneció por varias horas después de haber cesado las lluvias. Este prolongado drenaje puede ser significativo por incrementar el retraso del flujo de las cuencas de montaña (Veneklaas, 1995).

⊗ El lavado de los compuestos de nitrógeno que ingresaron por depositación seca (la cual no fue cuantificada independientemente en el presente estudio); y por asimilación de estos compuestos a partir de la depositación gaseosa y húmeda, por parte de las hojas, la superficie del tallo y las epífitas, entre otros (Oyarzún, *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta los citados postulados, es posible asegurar que el bosque asociado al humedal, además de contribuir con la neutralización de los compuestos depositados sobre el dosel antes del ingreso al humedal, también influye en el retraso del flujo hacia el humedal y de éste hacia las demás redes que integran el sistema de drenaje de la cuenca.

En este caso, la cubierta vegetal actúa como uno de los múltiples mecanismos de control del sistema hidrológico de la cuenca del río Palacé, a manera de una esponja protectora que contribuye a evitar posibles inundaciones inesperadas hacia la cuenca baja, especialmente durante la época 2, cuando los eventos de lluvia son de mayor intensidad, duración y frecuencia.

Por tal motivo, un incremento en la cobertura vegetal alrededor del humedal, contribuiría con la neutralización de compuestos ácidos y con el retraso del flujo en la cuenca del río Palacé. En el último caso, se observa como a lo largo de todo el periodo de muestreo el flujo neto ($T+EC-P$) fue positivo, lo cual indica que el dosel es capaz de retener el agua de *P*, y drenarla como precipitación neta ($T+EC$) (ver figura 30).

No se puede descartar el agua de precipitación que es interceptada y absorbida por el dosel, así como la que es evaporada y que por lo tanto no llega hasta el suelo del bosque.

De esta manera, se comienza a clarificar el efecto que puede llegar a tener el dosel arbóreo sobre la biogeoquímica de los nutrientes limitantes como el nitrógeno en un humedal, por su papel como receptor, colector y aportante de nutrientes, como neutralizante de compuestos ácidos y como controlador de los flujos hidrológicos hacia las redes de drenaje que integran una cuenca.

De aquí el papel del dosel en ser un medio a través del cual la precipitación neta arrastra hacia el suelo del bosque y el humedal los compuestos de nitrógeno y otros nutrientes que no fueron considerados en el presente estudio.

Lo anterior proporciona argumentos para resaltar la importancia de la cobertura vegetal contigua a los humedales como una extensión más del mismo, debido al intercambio de materia y energía que ocurre entre estos dos sistemas naturales. Por lo tanto, el desarrollo de estudios sobre las vías que siguen los nutrientes y las transformaciones que sufren hacia y dentro del humedal, son cruciales para comprender como funcionan estos ecosistemas integralmente y permitir el desarrollo de programas encaminados a su conservación y protección.

Finalmente, aunque los análisis de suelos fueron puntuales, permiten vislumbrar que el nitrato (NO_3^-) en su paso del dosel hacia el suelo del bosque, desempeña un importante papel en las transformaciones microbiales del suelo, si se tiene en cuenta los niveles normales de materia orgánica (sitio 2: 3,52%; sitio 3: 1,89%), la baja relación carbono nitrógeno de suelo del bosque (sitio 2: 0,89; sitio 3: 4,39) y los valores elevados de nitrógeno total (sitio 2: 0,23%; sitio 2: 0,25). De todas maneras, es crucial la comprobación de la dinámica temporal de los procesos de nitrificación y mineralización del suelo y su relación con la entrada de nitrógeno a través del dosel.

7.3. COMPARACIONES ESPACIALES DE LOS FLUJOS DEL NITRÓGENO EN LA *P*, *T* y *EC*

Los flujos del amonio (NH_4^+), y nitrato (NO_3^+), fueron comparados con los de otros bosques tropicales¹¹. No se contó con información que permitiera comparar el flujo del amoníaco (NH_3). Fue posible la comparación del nitrato (NO_3^-) en la *P* con Turrialba, Costa Rica (Henry, 1984) y en la *EC* con la microcuenca Arrayanales (Valverde, 1996). La comparación del amonio (NH_4^+) se realizó con el Parque Nacional los Nevados (Veneklaas, 1995) (Ver tabla 16).

¹¹ Para las comparaciones con otros bosques tropicales, se realizaron las respectivas conversiones de las unidades a $\text{mg/m}^2/\text{mes}$, teniendo en cuenta el tiempo de realización de cada estudio

Tabla 17. Flujo mensual de amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) en los procesos de *P*, *T* y *EC* en bosques tropicales de montaña ($\text{mg/m}^2/\text{mes}$)

		Vol. (mm)	pH (unidades)	NH_4^+ ($\text{mg/m}^2/\text{mes}$)	NO_3^- ($\text{mg/m}^2/\text{mes}$)	NH_3 ($\text{mg/m}^2/\text{mes}$)
Humedal "El Manzanar" (1870 msnm)	F de P	299,5	5,35	7,11	4,31	0,00
	F de T	237,5	6,23	22,04	123,68	0,07
	F de EC	182,1	6,44	28,62	312,95	0,10
Parque de los Nevados (2550 msnm)	F de P	176,25	4,4	76,25		
	F de T	154,5	5,6	89,585		
Parque de los Nevados (3370 msnm)	F de P	121,1	4,39	46,6		
	F de T	99	4,39	48,33		
Microcuenca Arrayanales (2600 msnm)	F de P				0,19	
	F de EC				0,0065	
Turrialba, Costa Rica (650msnm)	F de P		5,35	12	4,16	

Teniendo en cuenta las actividades ganaderas y agrícolas desarrolladas en las inmediaciones del humedal, las cuales serían en buena medida responsables del flujo de entrada del amonio (NH_4^+) por *P*, como medio de retorno del amoníaco (NH_3) emitido por dichas actividades, se esperaba que este flujo fuese superior al de los demás sitios; sin embargo, el flujo de amonio (NH_4^+) en la *P* fue más bajo en El Manzanar, que en los demás bosques tropicales, especialmente con relación al registrado en el Parque de los Nevados (ver tabla 17). Es posible que esto se deba a la fuerte influencia volcánica en este último sitio.

Se encontró una mejor correspondencia del flujo de amonio (NH_4^+) por *P*, con Turrialba (Costa Rica), pese a que el sitio de dicho estudio distó mucho menos de las fuentes volcánicas (entre 15 y 17 Km del volcán Turrialba y el volcán Irazú, respectivamente), en comparación con El Manzanar.

Es importante tener en cuenta que el volcán Puracé se ubica a 30 Km al SE de Popayán y cuenta con una altura de 4.646 msnm. Es un estratovolcán compuesto, con predominio de actividad explosiva de composición andesítica¹². El volcán

¹² Andesita: roca volcánica cuyo contenido de SiO_2 se encuentra entre 52 y 63%.

Sotará, otro de los volcanes pertenecientes a la Cadena Volcánica de los Coconucos, está localizado a 35 Km al SW de la ciudad de Popayán, con una elevación de 4.580 msnm, es un estrato-volcán compuesto (caldérico) activo, predominantemente efusivo (Arcila, 2002).

Las semejanzas en el flujo del amonio (NH_4^+) entre Turrialba y El Manzanar, pueden estar en correspondencia con condiciones ambientales muy similares entre estas dos zonas geográficas ampliamente distantes. Los dos sitios presentan valores de precipitación similar, alrededor de los 2200 mm y temperaturas cercanas a los 20°C.

Al comparar el flujo de amonio (NH_4^+) por T , este fue mucho menor en El Manzanar que en el Parque Nacional Los Nevados, por una mayor influencia volcánica en este último.

En cuanto a los valores de pH de la P y T , se puede afirmar que la fuerte influencia del Volcán Nevado del Ruiz, pudo ser la causa de estos altos valores, en comparación con el bosque El Manzanar respecto al volcán Puracé. Es decir, que los aportes de amonio (NH_4^+) en El Manzanar pueden deberse principalmente a factores locales mucho más que a regionales, específicamente al comportamiento temporal de la precipitación local. De todas maneras, es fundamental efectuar estudios detallados en depositación seca para aclarar este hecho.

El Manzanar, al parecer tuvo una mejor correspondencia con los flujos de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) de la P de Turrialba, Costa Rica, pese a que el sitio de dicho estudio distó mucho menos de fuentes volcánicas. Los dos lugares (El Manzanar y Turrialba), coincidieron extraordinariamente en el valor del pH del agua de precipitación (5.35). Esto podría significar que los dos sitios presentan características muy semejantes, no obstante estar geográficamente muy apartados, por lo que sería muy interesante poder realizar estudios en los cuales se incluyan los mismos nutrientes que fueron considerados en Turrialba y poder establecer comparaciones, con el propósito de facilitar la generación de un modelo de entrada de nutrientes por P , T y EC a los ecosistemas de humedal.

Se esperaba una mejor relación entre los flujos de nitrato (NO_3^-) por P y EC , entre El Manzanar y la microcuenca Arrayanales. Los valores del presente estudio estuvieron muy por encima de la microcuenca Arrayanales. Esto pudo estar relacionado con una menor área de captación, si se tiene en cuenta la reducción de las estructuras vegetales hacia los 2600 msnm, donde se ubica la microcuenca

Arrayanales. Además, en este sitio se abarcó un área espacial y periodo temporal superiores a los de El Manzanar.

El flujo del nitrato (NO_3^-) a través de la precipitación, en El Manzanar fue muy similar al de Turrialba. Como se mencionó anteriormente, esto se deba a las características climáticas similares.

8. CONCLUSIONES

1. La trascolación y la escorrentía cortical, contienen no solo los compuestos de nitrógeno lavados del follaje del dosel, las ramas y el tronco, sino de la lluvia incidente. Entre estos dos procesos, en el bosque de la hacienda El Manzanar, la escorrentía cortical se constituyó en el principal aportante de nitrógeno al humedal, especialmente de nitratos (NO_3^-).
2. Las fuentes locales de emisión (ganadería y agricultura) de los compuestos de nitrógeno son consideradas como las principales responsables de la depositación de compuestos de nitrógeno sobre el humedal. Como fuentes a escala regional, se tiene la oceánica y volcánica, dada la cercanía al Océano Pacífico y la Cadena Volcánica de los Coconucos, respectivamente.
3. Se observó una alta correspondencia entre la entrada de nitrógeno como amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) al suelo del bosque a través del dosel (por trascolación y escorrentía cortical) con la disponibilidad de nitrógeno total en el suelo.
4. El agua de escorrentía cortical y de trascolación, presentaron valores de pH casi neutros con relación a la precipitación, debido a la capacidad del dosel para neutralizar los compuestos ácidos de la precipitación incidente.
5. Teniendo en cuenta que la escorrentía cortical sufrió una mínima disminución de pH de una época a otra, se puede suponer que este proceso es fundamental en la neutralización de los compuestos ácidos provenientes de depositación seca y húmeda.
6. El bosque actúa como una barrera viva que retiene en la superficie de sus estructuras vegetales: nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), principalmente, como productos de las emisiones del estiércol del ganado y los suelos fertilizados.

7. El flujo de agua de trascolación y escorrentía cortical siguieron el mismo patrón del flujo de precipitación y estuvieron por debajo de este último, lo cual indica la retención de agua por parte del dosel.
8. Los flujos de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) presentaron el mismo patrón estacional de la precipitación. Aunque la concentración de estos compuestos disminuyó de la época de lluvias escasas a la de lluvias abundantes, el incremento del volumen favoreció el flujo.
9. Los flujos del amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) por escorrentía cortical, no sufrieron cambios significativos de una época a otra, suponiendo que por esta vía hay una entrada constante de estos compuestos, lo que se evidencia con las elevadas tasas de depositación por escorrentía cortical.
10. Los elevados flujos netos totales, de trascolación y escorrentía cortical, y de las tasas de depositación de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), reflejan un alto lavado foliar debido a las lluvias frecuentes y abundantes.
11. Teniendo en cuenta los flujos de agua, el dosel intercepta parte de la P, y el resto llega al suelo por T o EC ($\text{}$). Al comparar este hecho con los flujos netos, se sugiere a la depositación seca como principal aportante de estos compuestos. Sin embargo, esta aseveración amerita un estudio de comprobación.
12. Al comparar los flujos de entrada de los compuestos de nitrógeno por precipitación y a través del dosel hacia el humedal de la hacienda El Manzanar con estudios realizados en bosques tropicales, las mejores correspondencias se encontraron en los flujos por precipitación de El Manzanar y Turrialba Costa Rica, al parecer por condiciones climáticas y desarrollo de actividades antrópicas similares.

9. RECOMENDACIONES

Como en todo estudio, a medida que se avanzó en su ejecución y en la búsqueda de una organización coherente de los resultados, se encontraron algunas consideraciones, que se hubiesen querido incluir por oportunas y válidas, pero quedan latentes para quienes quieran tomar el riesgo de tomarlas en cuenta y someterlas a juicio:

1. Los aportes de nitrógeno por el dosel del bosque hacia el humedal son evidentes, por lo tanto, la entrada de nitrógeno al humedal podría estar afectando ambos ecosistemas. Se necesitaría un estudio complementario donde se consideren otras vías de entrada y almacenamiento de nutrientes al humedal (por ejemplo, caída de hojarasca, escorrentía superficial, fijación de nutrientes por los sedimentos, intercambio con aguas subterráneas, entre otras), de tal manera, que se pueda desarrollar un modelo integrado de balances de nutrientes para este humedal, lo cual facilite la comprensión de las entradas, salidas y flujos internos de los nutrientes en los humedales altoandinos.
2. Sería importante la realización de esta clase de estudios en bosques con un dosel más denso para determinar las variaciones con respecto al estudio actual en cuanto a las contribuciones por flujo de escorrentía cortical y flujo de trascolación y determinar la lluvia horizontal y sus contribuciones. Además, que los bosques escogidos sean homogéneos en cuanto a especie, para determinar las diferencias y similitudes en cuanto al aporte de nutrientes.
3. Se puede considerar la evaluación de la capacidad de las epífitas para neutralizar compuestos ácidos que ingresan al dosel por depositación seca y húmeda.
4. Este estudio deja en claro la necesidad de cuantificar la volatilización de los compuestos de nitrógeno a partir de las actividades agrícolas y ganaderas y su incidencia sobre los ecosistemas naturales.

5. Es preciso considerar la unificación de la información recopilada en la presente investigación con otras realizadas en humedales, ya que proporcionan elementos interactuantes que permitan la formulación de planes de manejo para estos ecosistemas estratégicos.

10. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MAYOR DE POPAYAN. Diagnóstico para la Implementación del Plan Ambiental Municipal. Secretaria De Planeación Municipal. Plan De Desarrollo Rural Popayán, 1999.

ALCOCK, M. R., y MORTON, A. J. Nutrient contenc of throughfall and stemflow in woodland recently established on heathland. En: Journal Ecology, Vol. 73 (1985); p. 625-632.

Asman, WAH; Drukker, B; Janssen, AJ. Modelled historical concentrations and depositions of ammonia and ammonium in Europe. En: Atmospheric Environment. Vol. 22, No. 4, (1988; p. 725-735. 1988.

ARCILA M.M., *et al.* 10 años del Observatorio Vulcanológico y Sismológico Ingeominas - Centro Operativo Regional Popayán. [en línea]. Bogotá (Cundinamarca, Colombia). Instituto Geofísico Universidad Javeriana. 6 de octubre de 2002 (4 de febrero de 2007). <<http://ainsuca.javeriana.edu.co/geofisico/simposio2002/Instrumentacion/10%20A%20D1OS%20DEL%20%20OVSP.PDF>>

ARTUNDUAGA, DIANA B. Caracterización ambiental de los humedales en una franja subandina del municipio de Popayán Cauca. Popayán, 2007. 183 p. Trabajo de grado (Bióloga), Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.

BRINSON, *et al.* Litterfall, Stemflow, and Throughfall Nutrient Fluxes in an Alluvial Swamp Forest. En: Ecology. Vol. 61, No. 4 (Agosoto, 1980); p. 827-835.

BRYANT, BHAT y JACOBS. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. En: Journal of Hydrology. Vol. 312, (2005); p.95–108.

BURBANO, M.L.. Análisis de la sensibilidad a la lluvia ácida en una ciudad intermedia tropical, Popayán, Colombia. Popayán, 2003. 148 p. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.

CHAPPELL, BIDIN y TYCH. Modelling rainfall and canopy controls on net-precipitation beneath selectively-logged tropical forest. En: Plant Ecology. Vol. 153; (2001); p. 215–229.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. Evaluación de la oferta y demanda del agua en la cuenca del río Palacé. Popayán, Cauca. C. R. C., 2002. 184 p.

DEVLAEMINCK, REBECAA, SCHRIJVERB, AN DE & HERMYA MARTIN. Variation in throughfall deposition across a deciduous beech (*Fagus sylvatica* L.) forest edge in Flanders. En: Science of the Total Environment. Vol. 337, (2005); p. 241– 252

DINGMAN, S. L., Physical Hydrology. Upper Saddle River, New: Jersey. U. S. A.. Prentice-Hall, Inc., 1994. 646 p.

DRAAIJERS GPJ. The variability of atmospheric deposition to forests. The Netherlands, 1993, 207 p. Doctoral thesis (Ph.D.). Utrecht University.

Dragosits U., *et al.* Ammonia emission, deposition and impact assessment at the field scale: a case study of sub-grid spatial variability. En: Environ Pollut. Vol. 117. No. 1, (2002); p.147-58.

EULISS, NED, *et. al.* The wetland continuum: a conceptual framework for interpreting biological studies. En: Wetlands, Vol. 24, No. 2, (2004); p.448-458.

FERM, MARTIN. Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: a review. En: Journal Nutrient Cycling in Agroecosystems. Vol. 51, No. 1, (May, 1998); p. 5-17.

FERNÁNDEZ, IVÁN. Caracterización química de los suelos del Bosque de Fray Jorge. Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La Serena, Chile. Ediciones Universidad de La Serena, 2004. 279 p.

GONZÁLEZ, JULIANA. Monitoring cloud interception in a tropical montane cloud foresto f the south – western Colombian Andes. En: Advances in environmental monitoring and modeling. Vol. 1, No.1 (2000); p. 97 – 117.

HARTUNG, E.; MONTENY H. & MONTENY G. Emission of methane and nitrous oxide from livestock housing - a literature study. 4a ed. Alemania. Publisher LANDTECHNIK, 2000.

HAUCK MARKUS. Epiphytic lichen diversity and forest dieback: The role of chemical site factors. En: The Bryologist. Vol. 106, No. 2 (2003); p. 257-269.

HENDRY, BERISH y EDGERTON. Precipitation Chemistry at Turrialba, Costa Rica. En: Water Resources Research, Vol. 20, No. 11, (1984); p. 1677-1684.

HOLDRIDGE, L.R. Ecología Basada en las zonas de vida. Ed. IICA, San José, Costa Rica, 1987. 216 p.

HÖLSCHER, D., KÖHLER, L., DIJK, A. I. J. M. VAN, BRUIJNZEEL, L. A. The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. En: Journal of Hydrology. Vol. 292, No. ¼., (2004); p. 308-322

INTERNATIONAL CO-OPERATIVE PROGRAMME ON ASSESSMENT AND MONITORING AIR POLLUTION EFFECTS ON FORESTS. Manual on Methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part VI: Sampling and Analysis of Deposition. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, 2004. 623 p.

KEDDY, PAUL. Wetland Ecology: Principles and Conservation. USA: Cambridge University, 2002, 614 p.

KEIMA, SKAUGSETB y WEILERC. Temporal Persistence of Spatial Patterns in Throughfall. En: Journal of Hydrology. Vol. 314, (2005); p.263-274.

KEIMANDA y SKAUGSET. Modelling effects of forest canopies on slope stability. En: Hydrol. Process. Vol.17, (2003); p. 1457–1467.

KOICHIRO, KURAJI, *et al.* generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest. En: Hydrological Processes. Vol. 15, No. 10 (2001); p. 1967-1978

LEVIA, DELPHIS & HERWITZ, STANLEY. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. En: Canadian Journal of Forest Research. Vol. 30, No. 4 (2000); p. 662-666.

LIKENS, E., *et al.* The calcium, magnesium, potassium and sodium budget in a small forested ecosystem. En: Ecology. Vol. 48, (1967); p.772-785.

LIKENS, E., *et al.* Biogeochemistry a Forest Ecosystems. New York: Springer-Verlag, 1977. 268 p.

LOVETT, G.M. & S.E. LINDBERG. Atmospheric deposition and canopy interactions of nitrogen in forests. En: Canadian Journal of Forest Research, Vol. 23. No. 8 (1993); p. 1603-1616.

MANAHAN, STANLEY. Fundamentals of Environmental Chemistry. Lewis publisher. United State of America, 1993. 598 p.

MARION y BLACK. The effect of time and temperature on nitrogen mineralization in Artic tundra soil. En: Soil Science Society of America Journal. Vol. 51, (1987); p. 1501-1508.

MATEOS, BEATRIZ y SCHNABEL, SUSANNE. Medición de la interceptación de las precipitaciones por la encina (*Quercus Rotundifolia lam.*): metodología e instrumentalización. Dpto. de Geografía y O.T., Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Extremadura. 1999. p. 112.

MATSUMOTO, *et al.* Separation of sources and quantification of dissolved nutrients In the throughfall. En: Diffuse Pollution Conference, Dublín, 2003.

MITSCH, WJ, and GOSSELINK, JG. Wetlands, 2nd ed. John Wiley, New York. 1993. 108 p.

MURILLO, JOSÉ. Las Euphorbiaceae de Colombia. En: Biota Colombiana. Vol. 5, No. 2, (2004); p. 183 – 200.

OYARZÚN, C., GODOY, R., STAELENS, J., ARACENA, C. & PROSCHLE, J. Nitrogen fluxes in a *Nothofagus obliqua* forest and a *Pinus radiata* plantation in the central valley of southern Chile. En: Gayana Bot. Vol. 62. No. 2, (2005); p. 88-97.

PARKER, GG. Throughfall and Stemflow in the Forest Nutrient Cycle. En: Advances in Ecological Research. Vol. 13, (1983); p. 57 – 133.

POSAF. Guía Metodológica para el Monitoreo de Indicadores de Impacto del POSAF II. [En línea]. Nicaragua. Programa SocioAmbiental y Desarrollo Forestal II. julio de 2005 (Citado el 7 de marzo de 2007). <http://www.posaf.org.ni/manuales/GUIA%20CAPITULO%20I-II-III-INTROD-SISTEMAS.doc>

PRICE A. G. Y CARLYLE-MOSES D. E. Measurement and modelling of growing-season canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada. En: Agricultural and forest meteorology. Vol. 119, No. 1-2, (2003); p. 69-85.

PRICE y WADDINGTON. Advances in Canadian wetland hydrology and biogeochemistry. En: Hydrol[Process. Vol. 03, (2000); p. 1579-1589.

RAAT, K.J. *et al.* Spatial variability of throughfall water and chemistry and forest floor water content in a Douglas fir forest stand. En: Hydrology and Earth System Sciences. Vol. 6, No. 3, (2002); p. 363–374.

RICHARD K. OLSON, WILLIAM A. REINERS, CHRISTOPHER S. CRONAN, GERALD E. LANG. The chemistry and flux of throughfall and stemflow in subalpine balsam fir forests. En: Ecography. Vol. 4,. No. 4, (diciembre, 1981); p. 291–300.

SCHELLEKENS, J. Hydrological processes in a humid tropical rain forest: a combined experimental and modeling approach. Ámsterdam, 2000. Doctoral Thesis (Ph.D.). Vrije Universiteit.

SCHLESINGER, WILLIAM. Biogeoquímica: un análisis del cambio global. España: Ariel, 2000, 237 p.

SCHLESINGER, WILLIAM & HARTLEY, ANNE. A global budget for atmospheric NH₃. En: Journal Biogeochemistry. Vol. 15, No.3, (January, 1992);p. 191-211.

SCHMID, S. Water and Ion Fluxes to a Tropical Montane Cloud Forest Ecosystem in Costa Rica. Bern, 2004. 218 p. Doctoral Thesis (Ph. D.) Universit"at Bern.

SHAVER G. R. *et al.* Factor limiting seasonal growth an peck biomasa accumulation in Eriophorum vaginatus in Alaskan tussock tundra. En: Journal of Ecology. Vol. 74, (1986); p. 257-278.

SHIN'ICHI IIDA *et al.* Estimation of infiltration area of stemflow-induced water. Tsukuba, 2006. Doctoral Thesis (Ph. D.) Univ. Tsukuba. Graduate School of Life and Environmental Sciences.

SOMMER, S. G. & HUTCHINGS, N. Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. En: Journal Water, Air, & Soil Pollution. Vol. 85, No. 1, (December, 1995); p. 237-248.

SPSS. SPSS for Windows 10.0.5. Chicago. (27 noviembre de 1999).

STAELENS *et al.* A comparison of bulk and wet-only deposition at two adjacent sites in Melle (Belgium). En: Atmospheric Environment. Vol. 39, (2005); p.7–15.

STAELENS *et al.* Comparison of dry deposition and canopy exchange of Base cations in temperate hardwood forests In flanders and Chile. En: Gayana Bot. Vol. 60, No. 1, (2003); p. 9-16.

STENSLAND, G.J. Comparison of Patterns of Ammonium Concentration in Precipitation to Ammonia Emission Estimates pp. 406-419. Emission Inventory: Living In A Global Environment - Volume 1.

STEINBUCK, ELIAS. The Influence of Tree Morphology on Stemflow in a Redwood Region Second-Growth Forest. California State University, 2002, Master thesis (Master of Science in Geosciences Hydrology/Hydrogeology Option). California State University. Faculty of California State University.

STINNER *et al.* Nutrient Bidgets and internal cycling of N, P, K, Ca y Mg in conventional tillage, no tillage and old-field ecosystems on the Georgia Piedmont. En: Ecology. Vol. 65, No. 2, (1984); p. 354-369.

SWANK Y REYNOLDS. Analysis of dry and wet deposition, throughfall, and stemflow event chemistry in a Pinus strobus L. plantation. En: Proceedings, international symposium on acidification and water pathways. Vol. 2, (mayo 4-5, 1987); p.127-136.

THIMONIER, ANNE, *et al.* Monitoring the Swiss Forest: Building a Research Platform. En: XXXVIII Corso di Cultura in Ecologia: Ambientale: metodologie ed applicazioni a cura di T. ANFODILLO & V. CARRARO. Swiss: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL). Monitoraggio, 2001, p. 121-132.

THIMONIER, ANNE. Measurement of atmospheric deposition under forest canopies: some recommendations for equipment and sampling design. En: Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 52, (1998); p.353–387.

THIMONIER, ANNE; *et al.* Atmospheric Deposition on Swiss Long-Term Forest Ecosystem Research (Lwf) Plots. En: Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 30, (2004); p. 1–38.

VALVERDE, A.. Aproximación a la determinación del flujo y balance de nutrientes y su posible relación con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca Arrayanes, Municipio de Popayán. Popayán, 1996. Trabajo de Grado (Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales). Instituto de Postgrados. Universidad del Cauca.

VAN EK, R. Rainfall interception and the significance of epiphytes in a cloud forest in the Central Cordillera, Colombia. En: Transecto Parque de los Nevados (Tercera Parte). En: Studies on tropical Andean ecosystems. Vol. 4 Editores: T. van de Hammen & A.G Dos Santos (1995).. Berlín, 1995. pp. 452 – 461.

VENEKLAAS, E. J. Nutrient Fluxes in Bulk Precipitation and Throughfall in Two Montane Tropical Rain Forest, Colombia. En: Journal Ecology. Vol. 78, (1990); p. 974-992.

VENEKLAAS, E. J. Water and nutrient fluxes in two montane rain forest canopies, Central Cordillera, Colombia, En: Transecto Parque de los Nevados (Tercera Parte). En: Studies on tropical Andean ecosystems. Vol. 4 Editores: T. van de Hammen & A.G Dos Santos (1995).. Berlín, 1995. pp. 463 – 474.

VIVAS, D. T. & E. MUÑOZ. Informe General Del Estado Actual De Los Recursos Naturales Y Del Medio Ambiente en el Municipio De Popayán. Contraloría Municipal de Popayán, 1999.

Webb J. Estimating the potential for ammonia emissions from livestock excreta and manures. En: Environ Pollut. Vol. 111, No. 3, (2001): p. 395-406.

WHITEHEAD, D.C. Atmospheric ammonia in relation to grassland agriculture and livestock production. En: Soil Use and Management. Vol. 6, No. 2, (1990); p. 63–65.

WILLEM A. H. ASMAN, MARK A. SUTTON, JAN K. SCHJØRRING. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. En: New Phytologist. Vol. 139, No. 1 (1998); 27–48.

ZIRLEWAGEN, D., VON WILPERT, K. Modeling water and ion fluxes in a highly structured, mixed-species stand. En: Forest Ecology and Management. Vol. 143, (2001); p. 27-37.

ANEXOS

Anexo 1 . Promedio mensual de las concentraciones de los compuestos de nitrógeno y de otros parámetros en los procesos de P, T Y EC.

Parámetro		Mes	P	Época	T	Época	EC	Época
NH ₄ ⁺ (mg/L)	Época 1	Jul	0,229	0,204	1,881	1,580	3,657	2,651
		Ago	0,242		1,109		2,573	
		Sep	0,140		1,750		1,723	
	Época 2	Oct	0,190	0,154	0,211	0,527	0,526	0,783
		Nov	0,048		0,286		0,590	
		Dic	0,168		0,659		0,829	
		Ene	0,211		0,952		1,185	
	Total		0,179		0,843		1,259	
	NH ₃ (mg/L)	Época 1	Jul	0,000	0,000	0,012	0,014	0,039
Ago			0,000	0,004		0,011		
Sep			0,000	0,027		0,014		
Época 2		Oct	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
		Nov	0,000		0,000		0,004	
		Dic	0,001		0,000		0,001	
		Ene	0,000		0,001		0,002	
Total		0,000		0,004		0,008		
NO ₃ ⁻ (mg/L)		Época 1	Jul	0,373	0,245	7,162	4,539	5,749
	Ago		0,284	3,873		7,785		
	Sep		0,077	2,584		5,696		
	Época 2	Oct	0,057	0,497	1,103	2,892	2,074	4,833
		Nov	0,066		5,034		2,812	
		Dic	0,092		3,926		10,937	
		Ene	1,775		1,506		3,511	
	Total		0,434		3,307		5,332	
	Vol. (mm)	Época 1	Jul	18,30	19,533	11,28	14,334	18,15
Ago			10,40	8,15		7,20		
Sep			29,90	23,57		12,97		
Época 2		Oct	76,11	76,786	76,15	62,262	68,46	48,013
		Nov	103,00		70,66		51,38	
		Dic	88,83		65,68		50,61	
		Ene	39,20		36,57		21,60	
Total		58,95		49,38		39,62		
Conduc. (μS/cm)		Época 1	Jul	7,13	10,111	59,56	75,063	87,47
	Ago		15,80	102,00		213,00		
	Sep		7,40	63,63		113,03		
	Época 2	Oct	7,90	5,404	15,39	20,893	30,22	29,537
		Nov	5,85		19,29		30,67	
		Dic	4,67		17,58		25,82	
		Ene	3,20		31,32		31,45	
	Total		7,07		32,89		48,28	
	TDS (g/L)	Época 1	Jul	0,010	0,008	0,066	0,054	0,139
Ago			0,010	0,066		0,139		
Sep			0,005	0,042		0,074		
Época 2		Oct	0,005	0,004	0,013	0,013	0,020	0,019
		Nov	0,004		0,013		0,020	
		Dic	0,003		0,011		0,017	
		Ene	0,002		0,014		0,021	
Total		0,005		0,018		0,028		
Salinidad (ppt)		Época 1	Jul	0,000	0,002	0,022	0,031	0,038
	Ago		0,005	0,05		0,100		
	Sep		0,000	0,021		0,053		
	Época 2	Oct	0,000	0,000	0,006	0,008	0,012	0,013
		Nov	0,000		0,008		0,013	
		Dic	0,000		0,007		0,012	
		Ene	0,000		0,010		0,014	
	Total		0,001		0,035		0,021	
	pH	Época 1	Jul	5,327	5,653	6,698	6,682	6,468
Ago			5,903	6,620		6,930		
Sep			5,730	6,729		6,603		
Época 2		Oct	5,241	5,201	6,172	6,066	6,465	6,404
		Nov	4,913		5,926		6,397	
		Dic	5,580		6,066		6,330	
		Ene	5,068		6,098		6,424	
Total		5,349		6,234		6,445		

Anexo 2. Promedio de las concentraciones de los compuestos de nitrógeno y de otros parámetros por época de lluvias en los procesos de P, T Y EC

Parámetro	Proceso	ÉPOCA 1					ÉPOCA 2				
		Media	N	D. E.	Min	Máx.	Media	N	D. E.	Min	Máx.
NH ₄ ⁺	P	0,215	9	0,121	0,106	0,46	0,166	24	0,159	0,025	0,693
	T	1,690	21	2,093	0,292	7,909	0,573	66	0,483	0,079	2,322
	EC	2,681	13	3,840	0,703	15,182	0,819	41	0,544	0,141	2,93
	Total	1,681	43	2,659	0,106	15,182	0,575	131	0,511	0,025	2,93
NH ₃	P	0,0000	9	0,000	0	0	0,0001	24	0,001	0	0,003
	T	0,015	21	0,037	0	0,168	0,0003	66	0,001	0	0,003
	EC	0,025	13	0,056	0	0,204	0,002	41	0,004	0	0,019
	Total	0,015	43	0,041	0	0,204	0,001	131	0,002	0	0,019
NO ₃ ²⁻	P	0,268	9	0,342	0,037	1,035	0,497	24	2,025	0	10
	T	5,009	21	4,055	0,973	14,908	2,696	60	2,493	0,17	11,826
	EC	5,881	13	2,950	2,791	12,776	5,214	36	5,115	0,747	20,922
	Total	4,280	43	3,853	0,037	14,908	3,012	120	3,789	0	20,922
Volumen (mm)	P	17,4	9,0	10,9	4,0	33,3	74,55	24	36,60	13,80	130,10
	T	14,8	21,0	10,0	1,5	35,0	60,39	66	50,89	6,30	288,00
	EC	14,9	13,0	12,5	0,7	44,5	47,46	41	54,97	7,10	267,20
	Total	15,36	43	10,772	0,7	44,5	58,94	131	50,49	6,30	288,00
Conduct. (μS/cm)	P	11,04	9	5,385	5	22,4	5,58	24	2,20	2,20	9,60
	T	69,00	21	46,908	18,8	168	21,12	66	23,51	8,00	196,00
	EC	108,92	13	68,159	29	274	29,89	41	14,32	14,00	76,60
	Total	68,94	43	59,947	5	274	21,01	131	20,23	2,20	196,00
TDS (g/L)	P	0,01	6	0,003	0,005	0,014	0,00	24	0,00	0,00	0,01
	T	0,05	11	0,030	0,012	0,109	0,01	66	0,01	0,00	0,05
	EC	0,08	7	0,054	0,041	0,178	0,02	41	0,01	0,01	0,05
	Total	0,05	24	0,044	0,005	0,178	0,01	131	0,01	0,00	0,05
Salinidad (mg/L)	P	0,00	9	0,004	0	0,01	0,00	24	0,00	0,00	0,00
	T	0,03		0,023	0	0,08	0,01	66	0,01	0,00	0,02
	EC	0,05	13	0,033	0,01	0,13	0,01	41	0,01	0,00	0,03
	Total	0,07	43	0,302	0	2	0,01	131	0,01	0,00	0,03
pH (unidades)	P	5,67	9	0,377	5,22	6,38	5,23	24	0,49	4,65	7,08
	T	6,69	21	0,384	6,13	7,56	6,09	66	0,29	5,18	6,52
	EC	6,57	13	0,722	5,11	7,45	6,41	41	0,42	5,45	7,50
	Total	6,44	43	0,640	5,11	7,56	6,03	131	0,55	4,65	7,50

Anexo 3. ANOVA de una vía para la concentración de los compuestos de nitrógeno y variables complementarias, agrupados por procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

		PRECIPITACIÓN					TRASCOLACIÓN					ESCORRENTÍA CORTICAL*				
		Suma de cuadrado	df	Mean Square	F	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NH ₄ ⁺	Entre Grupos	0,10	6	0,017	0,737	0,624	27,6	6	4,607	3,879	0,002	48,70	6	8,117	2,189	0,061
	Dentro Grupos	0,61	26	0,023			95,0	80	1,188			174,30	47	3,709		
	Total	0,71	32				122,7	86				223,00	53			
NH ₃	Entre Grupos	0,00	6	2,0455E-07	0,7091	0,64527	0,0	6	0,001	2,623	0,023	0,01	6	0,001	1,579	0,174
	Dentro Grupos	0,00	26	2,8846E-07			0,0	80	0,000			0,04	47	0,001		
	Total	0,00	32				0,0	86				0,04	53			
NO ₃ ⁻²	Entre Grupos	13,53	6	2,254	0,714	0,642	317,1	6	52,853	8,473	0,000	538,29	6	89,715	7,755	0,000
	Dentro Grupos	82,09	26	3,157			461,6	74	6,238			485,91	42	11,569		
	Total	95,62	32				778,7	80				1024,20	48			
Vol.	Entre Grupos	33889,96	6	5648,327	7,622	0,000	51283,5	6	8547,251	4,493	0,001	24114,28	6	4019,046	1,731	0,135
	Dentro Grupos	19268,34	26	741,090			152195,3	80	1902,442			109097,53	47	2321,224		
	Total	53158,30	32				203478,8	86				133211,81	53			
Cond.	Entre Grupos	441,06	6	73,511	19,545	0,000	44578,9	6	7429,820	8,268	0,000	75647,64	6	12607,939	11,860	0,000
	Dentro Grupos	97,79	26	3,761			71891,3	80	898,641			49962,25	47	1063,027		
	Total	538,85	32				116470,2	86				125609,89	53			
TDS	Entre Grupos	0,00	6	0,000	20,747	0,000	0,0	6	0,003	15,112	0,000	0,03	6	0,005	11,237	0,000
	Dentro Grupos	0,00	23	0,000			0,0	70	0,000			0,02	41	0,000		
	Total	0,00	29				0,0	76				0,04	47			
Salin.	Entre Grupos	0,00	6	0,000	3,808	0,007	0,0	6	0,001	11,818	0,000	0,02	6	0,003	11,523	0,000
	Dentro Grupos	0,00	26	0,000			0,0	80	0,000			0,01	47	0,000		
	Total	0,00	32				0,0	86				0,03	53			
pH	Entre Grupos	3,17	6	0,528	2,909	0,026	6,2	6	1,041	10,279	0,000	0,55	6	0,092	0,329	0,918
	Dentro Grupos	4,72	26	0,181			8,1	80	0,101			13,16	47	0,280		
	Total	7,88	32				14,3	86				13,71	53			

Anexo 4. Pruebas *Post Hoc* para ANOVA. Concentración de amonio (NH₄⁺), amoníaco (NH₃) y nitrato (NO₃⁻) y variables complementarias, agrupados procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

		Precipitación				Trascolación						
NH ₄ ⁺	MES					MES	N	Subset for alpha = .05				
	Oct	18						1	2	3		
	Nov	9						0,211388889				
	Dic	19						0,285555556	0,2856			
	Ene	20						0,659421053	0,6594	0,6594		
	Ago	4						0,945	0,945	0,945		
	Sep	7						1,10875	1,1088	1,1088		
	Jul	10							1,7497	1,7497		
	Sig.							0,57546556	0,0726	0,2111		
	NO ₃ ⁻	MES					MES		1	2	3	
Oct		18						1,103				
Ene		14						1,574071429	1,5741			
Sep		7						2,584142857	2,5841			
Ago		4						3,8725	3,8725	3,8725		
Dic		19						3,925684211	3,9257	3,9257		
Nov		9							5,034	5,034		
Jul		10								7,1618		
Sig.								0,218161643	0,0652	0,0928		
Vol.		MES		1	2	3	4	MES		1	2	3
	Ago	4	10,40						8,15			
	Jul	3	18,30	18,30					11,28	11,28		
	Sep	2	29,90	29,90	29,90				23,57142857	23,571	23,571	
	Ene	6	39,20	39,20	39,20				36,565	36,565	36,565	
	Oct	8		76,11	76,11	76,11			65,67894737	65,679	65,679	
	Dic	6			88,83	88,83				70,656	70,656	
	Nov	4				103,00					76,15	
	Sig.		0,75	0,08	0,07	0,81			0,082675993	0,066	0,1451	
	Conduc.	MES		1	2	3		MES		1	2	3
Ene		6	3,20						15,38888889			
Dic		6	4,67	4,67					17,57894737	17,579		
Nov		4	5,85	5,85					19,28888889	19,289		
Jul		3	7,13	7,13					30,45	30,45	30,45	
Sep		2	7,40	7,40						59,56	59,56	
Oct		8		7,90							63,629	64
Ago		4			15,8							102
Sig.			0,07	0,27	1				0,933154181	0,0532	0,2243	0,1
Salinidad		MES		1	2			MES		1	2	
	Jul	3	0						0,006111111			
	Sep	2	0						0,006842105			
	Oct	8	0						0,007777778			
	Nov	4	0						0,0095			
	Dic	6	0						0,021428571			
	Ene	6	0						0,022			
	Ago	4		0,005						0,545		
	Sig.		1	1					0,999997121	1		
	pH	MES		1	2			MES		1	2	3
Nov		4	4,91						5,925555556			
Ene		6	5,07	5,07					6,066315789			
Oct		8	5,24	5,24					6,1065			
Jul		3	5,33	5,33					6,172222222	6,1722		
Dic		6	5,58	5,58						6,62	6,62	
Sep		2	5,73	5,73							6,698	
Ago		4		5,90							6,7286	
Sig.			0,14	0,13					0,643472135	0,0512	0,9902	

Anexo 5. ANOVA de una vía para la concentración de los compuestos de nitrógeno y variables complementarias, agrupados por épocas de lluvias y procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

		LLUVIAS ESCASAS					LLUVIAS ABUNDANTES				
			df	Mean Square	F	Sig.		df	Mean Square	F	Sig.
precipitación	NH ₄ ⁺	Entre	2	0,01	0,433	0,667		3	0,02	0,963	0,429
		Dentro	6	0,02			20	0,03			
		Total	8				23				
	NH ₃	Entre	2	0,00				3	0,00	1,000	0,413
		Dentro	6	0,00			20	0,00			
		Total	8				23				
	NO ₃ ²⁻	Entre	2	0,05	0,386	0,695		3	4,36	1,073	0,383
		Dentro	6	0,14			20	4,06			
		Total	8				23				
	Vol.	Entre	2	255,46	3,527	0,097		3	3992,99	4,240	0,018
		Dentro	6	72,42			20	941,69			
		Total	8				23				
	Conduc.	Entre	2	81,46	7,076	0,026		3	27,45	19,111	0,000
		Dentro	6	11,51			20	1,44			
		Total	8				23				
	TDS	Entre	2	0,00	2,657	0,217		3	0,00	16,490	0,000
		Dentro	3	0,00			20	0,00			
		Total	5				23				
	Salin.	Entre	2	0,00	1,667	0,266		3	0,00		
		Dentro	6	0,00			20	0,00			
		Total	8				23				
	pH	Entre	2	0,29	3,088	0,120		3	0,43	2,080	0,135
		Dentro	6	0,09			20	0,21			
		Total	8				23				
trascolación	NH ₄ ⁺	Entre	2	0,87	0,183	0,835		3	2,00	13,561	0,000
		Dentro	18	4,77			62	0,15			
		Total	20				65				
	NH ₄	Entre	2	0,00	0,558	0,582		3	0,00	4,152	0,010
		Dentro	18	0,00			62	0,00			
		Total	20				65				
	NO ₃ ²⁻	Entre	2	46,34	3,532	0,051		3	47,08	11,693	0,000
		Dentro	18	13,12			56	4,03			
		Total	20				59				
	Vol.	Entre	2	419,68	6,454	0,008		3	5767,78	2,368	0,079
		Dentro	18	65,02			62	2435,89			
		Total	20				65				
	Conduc.	Entre	2	2724,55	1,272	0,304		3	866,87	1,612	0,196
		Dentro	18	2142,08			62	537,64			
		Total	20				65				
	TDS	Entre	2	0,00	0,835	0,469		3	0,00	0,320	0,811
		Dentro	8	0,00			62	0,00			
		Total	10				65				
	Salin.	Entre	2	0,00	3,040	0,073		3	0,00	1,113	0,351
		Dentro	18	0,00			62	0,00			
		Total	20				65				
	pH	Entre	2	0,02	0,094	0,911		3	0,13	1,520	0,218
		Dentro	18	0,16			62	0,08			
		Total	20				65				
Escorial	NH ₄ ⁺	Entre	2	5,61	0,339	0,721		3	1,08	4,658	0,007
		Dentro	10	16,57			37	0,23			
		Total	12				40				
	NH ₅	Entre	2	0,00	0,277	0,764		3	0,00	0,827	0,487
		Dentro	10	0,00			37	0,00			
		Total	12				40				
	NO ₃ ²⁻	Entre	2	1,97	0,196	0,825		3	176,70	14,670	0,000
		Dentro	10	10,05			32	12,04			
		Total	12				35				
	Vol.	Entre	2	72,54	0,420	0,668		3	4505,82	1,553	0,217
		Dentro	10	172,70			37	2901,91			
		Total	12				40				
	Conduc.	Entre	2	6847,82	1,628	0,244		3	98,67	0,461	0,711
		Dentro	10	4205,18			37	213,80			
		Total	12				40				
	TDS	Entre	2	0,00	0,541	0,620		3	0,00	0,520	0,671
		Dentro	4	0,00			37	0,00			
		Total	6				40				
	Salin.	Entre	2	0,00	1,689	0,233		3	0,00	0,672	0,575
		Dentro	10	0,00			37	0,00			
		Total	12				40				
	pH	Entre	2	0,10	0,164	0,851		3	0,04	0,203	0,894
		Dentro	10	0,61			37	0,19			
		Total	12				40				

Anexo 6. Pruebas *Post Hoc* para ANOVA. Concentración de amonio (NH₄⁺), amoníaco (NH₃) y nitrato (NO₃⁻) y variables complementarias, agrupados épocas y procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

	AMONIO				AMONIACO				NITRATO				Volumen				Conductividad				TDS				
		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05		
EPOCA=Lluvias abundantes PROCESO=trascología	MES		1	2	MES		1	2	MES		1	2													
	Oct	18	0,211		Nov	9	0,000		Oct	18	1,103														
	Nov	9	0,286		Oct	18	0,000	0,000	Ene	14	1,574														
	Dic	19		0,659	Dic	19	0,000	0,000	Dic	19		3,926													
	Ene	20		0,945	Ene	20		0,001	Nov	9		5,034													
	Sig.		0,952	0,190	Sig.		0,452	0,068	Sig.		0,927	0,475													
EPOCA=Lluvias abundantes PROCESO=Escorrentía cortical	MES		1	2					MES		1	2													
	Oct	12	0,526						Oct	12	2,074														
	Nov	6	0,590						Nov	6	2,812														
	Dic	11	0,829	0,829					Ene	7	3,661														
	Ene	12		1,216					Dic	11		10,937													
	Sig.		0,529	0,314					Sig.		0,789	1,000													
EPOCA=Lluvias escasas PROCESO=trascología									MES		1	2													
									Ago	4	8,15														
									Jul	10	11,28														
									Sep	7		23,571													
									Sig.		0,77952	1													
EPOCA=Lluvias abundantes PROCESO=precipitación									MES		1	2	MES		1	2	3	MES		1	2				
									Ene	6	39,2		Ene	6	3,2			Ene	6	0,002					
									Oct	8	76,11	76,11	Dic	6	4,667	4,667		Dic	6	0,003	0,003				
									Dic	6	88,83	88,83	Nov	4		5,850		Nov	4		0,004	3,000			
									Nov	4		103,00	Oct	8			7,900	Oct	8						
									Sig.		0,06	0,47	Sig.		0,201	0,370	1,000	Sig.		0,292	0,588	0,005			

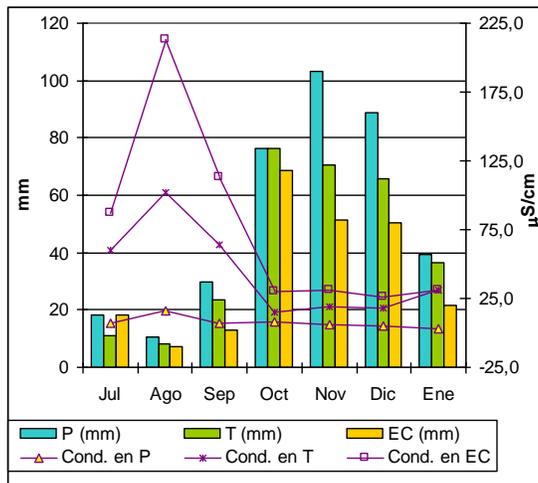
Anexo 7. ANOVA de una vía para los compuestos de nitrógeno y variables complementarias, agrupados por épocas de lluvias. Factor: procesos hidrológicos (P, T y EC)

LLUVIAS ESCASAS						LLUVIAS ABUNDANTES			
		df	Mean Square	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.
NH ₄ ⁺	Entre	2	16,175	2,445	0,100	2	3,226	14,982	0,000
	Dentro	40	6,617			128	0,215		
	Total	42				130			
NH ₃	Entre	2	0,002	1,032	0,366	2	0,000	10,002	0,000
	Dentro	40	0,002			128	0,000		
	Total	42				130			
NO ₃ ²⁻	Entre	2	94,699	8,725	0,001	2	166,149	14,122	0,000
	Dentro	40	10,854			117	11,765		
	Total	42				119			
Vol.	Entre	2	22,926	0,190	0,828	2	5695,513	2,278	0,107
	Dentro	40	120,683			128	2500,227		
	Total	42				130			
Conduc.	Entre	2	25474,769	10,191	0,000	2	4474,951	12,944	0,000
	Dentro	40	2499,646			128	345,720		
	Total	42				130			
TDS	Entre	2	0,009	7,137	0,004	2	0,002	31,079	0,000
	Dentro	21	0,001			128	0,000		
	Total	23				130			
Salin.	Entre	2	0,006	10,307	0,000	2	0,001	40,040	0,000
	Dentro	40	0,001			128	0,000		
	Total	42				130			
pH	Entre	2	3,430	13,268	0,000	2	10,803	75,853	0,000
	Dentro	40	0,259			128	0,142		
	Total	42				130			

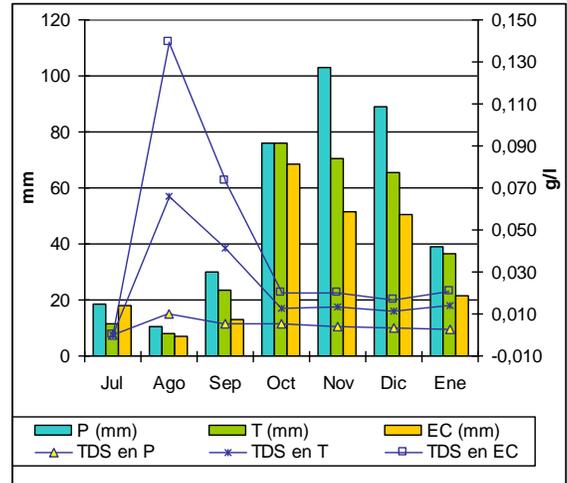
Anexo 8. . Pruebas *Post Hoc* para ANOVA. Concentración de amonio (NH₄⁺), amoníaco (NH₃) y nitrato (NO₃⁻) y variables complementarias, agrupados épocas. Factor: procesos hidrológicos (P, T y EC)

		Época 1			Época 2			
NH ₄ ⁺		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	24	0,166		P	24	0,166	
	T	66		0,573	T	66		0,573
	EC	41		0,819	EC	41		0,819
	Sig.		1	0,059	Sig.		1	0,059
NH ₃		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	24	0,000		P	24	0,000	
	T	66	0,000		T	66	0,000	
	EC	41		0,002	EC	41		0,002
	Sig.		0,896	1,000	Sig.		0,896	1,000
NO ₃ ⁼		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	9	0,268		P	24	0,497	
	T	21		5,009	T	60		2,696
	EC	13		5,881	EC	36		5,214
	Sig.		1,000	0,784	Sig.		1	1
Conduc.		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	9	11,04		P	24	5,58	
	T	21		69	T	66		21,12
	EC	13		108,92	EC	41		29,89
	Sig.		1	0,12	Sig.		1	0,11
TDS		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	6	0,009		P	24	0,004	
	T	11	0,051	0,051	T	66		0,013
	EC	7		0,083	EC	41		0,019
	Sig.		0,078	0,205	Sig.		1	1
Salinidad		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	24	0		P	24	0	
	T	66		0,008	T	66		0,008
	EC	41		0,013	EC	41		0,013
	Sig.		1	1	Sig.		1	1
pH		N	Subset for alpha = .05			N	Subset for alpha = .05	
	Proceso		1	2	Proceso		1	2
	P	9	5,67		P	24	5,23	
	T	13		6,57	T	66		6,09
	EC	21		6,69	EC	41		6,41
	Sig.		1	0,80	Sig.		1	1

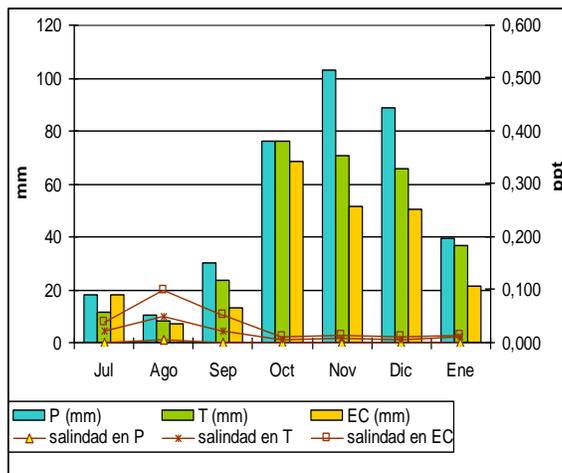
Anexo 9. Distribución temporal de las variables complementarias, respecto al volumen de agua de cada proceso (mm).



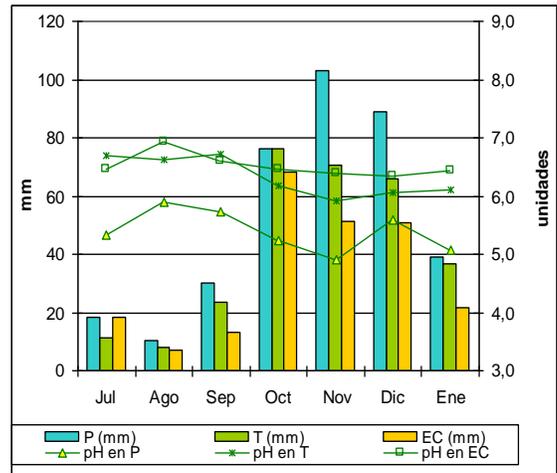
Conductividad



TDS



Salinidad



pH

Anexo 10. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables en el proceso de Precipitación por época de lluvias. Época 1: N=9 (TDS: N=6); Época 2: N=24 (Sig.: 2 colas)

EPOCA 1								
	NH4+	NH3	NO3=	Vol.	Cond	TDS	Salin.	pH
NH4+	1	,	,800(**)	-,867(**)	,770(*)	0,783	0,518	0,417
NH3	,	,	,	,	,	,	,	,
NO3=	,800(**)	,	1	-,750(*)	,695(*)	0,609	0,207	0,6
Vol.	-,867(**)	,	-,750(*)	1	-,728(*)	-0,58	-0,311	-0,25
Cond.	,770(*)	,	,695(*)	-,728(*)	1	,971(**)	,728(*)	,711(*)
TDS	0,783	,	0,609	-0,58	,971(**)	1	,840(*)	0,377
Salin.	0,518	,	0,207	-0,311	,728(*)	,840(*)	1	0,414
pH	0,417	,	0,6	-0,25	,711(*)	0,377	0,414	1

EPOCA 2								
	NH4+	NH3	NO3=	Vol.	Cond	TDS	Salin.	pH
NH4+	1	0,256	-0,292	-0,149	0,295	0,356	,	0,244
NH3	0,256	1	0,09	-0,226	0,061	0,077	,	0,347
NO3=	-0,292	0,09	1	-0,268	-,520(**)	-,557(**)	,	,674(**)
Vol.	-0,149	-0,226	-0,268	1	0,37	0,368	,	-0,274
Cond.	0,295	0,061	-,520(**)	0,37	1	,979(**)	,	-0,137
TDS	0,356	0,077	-,557(**)	0,368	,979(**)	1	,	-0,131
Salin.	,	,	,	,	,	,	,	,
pH	0,244	0,347	,674(**)	-0,274	-0,137	-0,131	,	1

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

Anexo 11. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables en el proceso de Trascolución por época de lluvias. Época 1: N=21 (TDS: N=11); Época 2: N=66 (nitrato: N=60) (Sig.: 2 colas)

ÉPOCA 1

	Vol. (mm)	Flujo de NH4+	Flujo de NH3	Flujo de NO3=	NH4+	NH3	NO3=	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,495(*)	0,005	,478(*)	-,561(**)	-0,415	-,543(*)	-,508(*)	-,665(*)	-0,33	-0,354
Flujo de NH4 ⁺	,495(*)	1	,669(**)	,478(*)	0,384	,452(*)	-0,001	0,377	0,178	0,101	0,372
Flujo de NH ₄	0,005	,669(**)	1	0,206	,653(**)	,881(**)	0,312	,607(**)	0,457	0,21	,881(**)
Flujo de NO ₃ ⁼	,478(*)	,478(*)	0,206	1	-0,195	-0,031	0,41	-0,139	0,082	-0,388	0,108
NH ₄ ⁺	-,561(**)	0,384	,653(**)	-0,195	1	,898(**)	,438(*)	,892(**)	,897(**)	,512(*)	,748(**)
NH ₄	-0,415	,452(*)	,881(**)	-0,031	,898(**)	1	,503(*)	,821(**)	,793(**)	0,383	,937(**)
NO ₃ ⁼	-,543(*)	-0,001	0,312	0,41	,438(*)	,503(*)	1	,435(*)	,661(*)	0,019	,579(**)
Cond	-,508(*)	0,377	,607(**)	-0,139	,892(**)	,821(**)	,435(*)	1	,998(**)	,679(**)	,728(**)
TDS	-,665(*)	0,178	0,457	0,082	,897(**)	,793(**)	,661(*)	,998(**)	1	,699(*)	,703(*)
Salin.	-0,33	0,101	0,21	-0,388	,512(*)	0,383	0,019	,679(**)	,699(*)	1	0,252
pH	-0,354	0,372	,881(**)	0,108	,748(**)	,937(**)	,579(**)	,728(**)	,703(*)	0,252	1

ÉPOCA 2

	Vol. (mm)	Flujo de NH4+	Flujo de NH3	Flujo de NO3=	NH4+	NH3	NO3=	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,550(**)	-0,083	,517(**)	-,305(*)	-0,074	-0,194	-,262(*)	-0,24	-0,232	-0,194
Flujo de NH ₄ ⁺	,550(**)	1	,481(**)	,346(**)	,492(**)	,345(**)	-0,044	0,215	0,092	0,136	-0,019
Flujo de NH ₇	-0,083	,481(**)	1	-0,033	,512(**)	,708(**)	-0,009	,371(**)	,390(**)	,283(*)	,456(**)
Flujo de NO ₃ ⁼	,517(**)	,346(**)	-0,033	1	-0,135	-0,251	,559(**)	-0,176	-,302(*)	-0,108	-0,042
NH ₄ ⁺	-,305(*)	,492(**)	,512(**)	-0,135	1	,640(**)	0,202	,638(**)	,487(**)	,484(**)	0,153
NH ₇	-0,074	,345(**)	,708(**)	-0,251	,640(**)	1	-0,018	,535(**)	,508(**)	,363(**)	,447(**)
NO ₃ ⁼	-0,194	-0,044	-0,009	,559(**)	0,202	-0,018	1	0,225	0,091	0,248	0,083
Cond	-,262(*)	0,215	,371(**)	-0,176	,638(**)	,535(**)	0,225	1	,793(**)	,810(**)	,287(*)
TDS	-0,24	0,092	,390(**)	-,302(*)	,487(**)	,508(**)	0,091	,793(**)	1	,646(**)	0,213
Salin.	-0,232	0,136	,283(*)	-0,108	,484(**)	,363(**)	0,248	,810(**)	,646(**)	1	,300(*)
pH	-0,194	-0,019	,456(**)	-0,042	0,153	,447(**)	0,083	,287(*)	0,213	,300(*)	1

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 12. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables en el proceso de Escorrentía Cortical, por época de lluvias. Epoca 1: N=13 (TDS: N=7); Época 2: N=46 (nitrato: N=36) (sig.=2-colas)

EPOCA 1								
	NH4+	NH3	NO3=	Vol.	Cond	TDS	Salin.	pH
NH+	1	,926(**)	,797(**)	-0,505	,852(**)	,893(**)	,867(**)	,806(**)
NH3	,926(**)	1	,744(**)	-0,388	,771(**)	,757(*)	,786(**)	,932(**)
NO3=	,797(**)	,744(**)	1	-0,225	,714(**)	,893(**)	,733(**)	,655(*)
Vol.	-0,505	-0,388	-0,225	1	-0,418	-0,357	-0,45	-0,349
Cond.	,852(**)	,771(**)	,714(**)	-0,418	1	1,000(**)	,989(**)	,627(*)
TDS	,893(**)	,757(*)	,893(**)	-0,357	1,000(**)	1	,982(**)	0,714
Salin.	,867(**)	,786(**)	,733(**)	-0,45	,989(**)	,982(**)	1	,637(*)
pH	,806(**)	,932(**)	,655(*)	-0,349	,627(*)	0,714	,637(*)	1

EPOCA 2								
	NH4+	NH3	NO3=	Vol.	Cond	TDS	Salin.	pH
NH+	1	,784(**)	,396(*)	-0,286	,730(**)	,730(**)	,496(**)	,451(**)
NH3	,784(**)	1	,347(*)	-0,181	,815(**)	,815(**)	,549(**)	,717(**)
NO3=	,396(*)	,347(*)	1	-0,051	0,264	0,254	,382(*)	0,308
Vol.	-0,286	-0,181	-0,051	1	-0,079	-0,081	0,005	0,004
Cond.	,730(**)	,815(**)	0,264	-0,079	1	,998(**)	,657(**)	,630(**)
TDS	,730(**)	,815(**)	0,254	-0,081	,998(**)	1	,661(**)	,641(**)
Salin.	,496(**)	,549(**)	,382(*)	0,005	,657(**)	,661(**)	1	,407(**)
pH	,451(**)	,717(**)	0,308	0,004	,630(**)	,641(**)	,407(**)	1

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

Anexo 13. Prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para las variables entre todos los procesos. Precipitación: N=33 (TDS: N=30); Trascología: N=87 (TDS: N=77); Escorrentía cortical: N= 54 (nitrato: N=49; TDS: N=48). Sig.: 2-colas

PRECIPITACIÓN

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,630(**)	-0,056	,431(*)	-,392(*)	-0,056	-,354(*)	-0,281	-0,224	-,360(*)	-,546(**)
Flujo de NH ₄ ⁺	,630(**)	1	0,204	0,048	,385(*)	0,204	-,398(*)	0	0,066	-0,16	-0,186
Flujo de NH ₃	-0,056	0,204	1	-0,093	0,223	1,000(**)	0,046	-0,028	-0,011	-0,045	0,297
Flujo de NO ₃ ⁻	,431(*)	0,048	-0,093	1	-,371(*)	-0,093	,464(**)	-0,264	-0,316	-0,04	-0,005
NH ₄ ⁺	-,392(*)	,385(*)	0,223	-,371(*)	1	0,223	0,007	,425(*)	,439(*)	0,273	,411(*)
NH ₃	-0,056	0,204	1,000(**)	-0,093	0,223	1	0,046	-0,028	-0,011	-0,045	0,297
NO ₃ ⁻	-,354(*)	-,398(*)	0,046	,464(**)	0,007	0,046	1	-0,06	-0,163	0,187	,639(**)
Cond	-0,281	0	-0,028	-0,264	,425(*)	-0,028	-0,06	1	,984(**)	,415(*)	0,29
TDS	-0,224	0,066	-0,011	-0,316	,439(*)	-0,011	-0,163	,984(**)	1	,439(*)	0,29
Salin.	-,360(*)	-0,16	-0,045	-0,04	0,273	-0,045	0,187	,415(*)	,439(*)	1	0,307
pH	-,546(**)	-0,186	0,297	-0,005	,411(*)	0,297	,639(**)	0,29	0,29	0,307	1

TRASCOLACIÓN

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,583(**)	-,292(**)	,595(**)	-,438(**)	-,383(**)	-,368(**)	-,492(**)	-,406(**)	-,416(**)	-,474(**)
Flujo de NH ₄ ⁺	,583(**)	1	,323(**)	,419(**)	,343(**)	0,152	-0,132	0,045	0,047	-0,034	-0,141
Flujo de NH ₃	-,292(**)	,323(**)	1	-0,117	,630(**)	,815(**)	0,175	,548(**)	,505(**)	,419(**)	,650(**)
Flujo de NO ₃ ⁻	,595(**)	,419(**)	-0,117	1	-,262(*)	-,314(**)	,364(**)	-,331(**)	-,389(**)	-,320(**)	-0,196
NH ₄ ⁺	-,438(**)	,343(**)	,630(**)	-,262(*)	1	,732(**)	,296(**)	,729(**)	,587(**)	,577(**)	,400(**)
NH ₃	-,383(**)	0,152	,815(**)	-,314(**)	,732(**)	1	,233(*)	,706(**)	,619(**)	,522(**)	,688(**)
NO ₃ ⁻	-,368(**)	-0,132	0,175	,364(**)	,296(**)	,233(*)	1	,348(**)	0,136	,288(**)	,306(**)
Cond	-,492(**)	0,045	,548(**)	-,331(**)	,729(**)	,706(**)	,348(**)	1	,840(**)	,816(**)	,576(**)
TDS	-,406(**)	0,047	,505(**)	-,389(**)	,587(**)	,619(**)	0,136	,840(**)	1	,734(**)	,420(**)
Salin.	-,416(**)	-0,034	,419(**)	-,320(**)	,577(**)	,522(**)	,288(**)	,816(**)	,734(**)	1	,494(**)
pH	-,474(**)	-0,141	,650(**)	-0,196	,400(**)	,688(**)	,306(**)	,576(**)	,420(**)	,494(**)	1

ESCORRENTÍA CORTICAL

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,614(**)	0,065	,704(**)	-,448(**)	-,347(*)	-0,2	-,370(**)	-,336(*)	-,342(*)	-0,13
Flujo de NH ₄ ⁺	,614(**)	1	,638(**)	,596(**)	,386(**)	,340(*)	0,2	,314(*)	,363(*)	0,231	,288(*)
Flujo de NH ₃	0,065	,638(**)	1	0,165	,669(**)	,864(**)	,399(**)	,664(**)	,689(**)	,525(**)	,780(**)
Flujo de NO ₃ ⁻	,704(**)	,596(**)	0,165	1	-0,178	-0,137	,460(**)	-0,167	-0,134	-0,062	-0,004
NH ₄ ⁺	-,448(**)	,386(**)	,669(**)	-0,178	1	,830(**)	,499(**)	,801(**)	,783(**)	,687(**)	,517(**)
NH ₃	-,347(*)	,340(*)	,864(**)	-0,137	,830(**)	1	,419(**)	,782(**)	,799(**)	,644(**)	,760(**)
NO ₃ ⁻	-0,2	0,2	,399(**)	,460(**)	,499(**)	,419(**)	1	,403(**)	,350(*)	,462(**)	,336(*)
Cond	-,370(**)	,314(*)	,664(**)	-0,167	,801(**)	,782(**)	,403(**)	1	,999(**)	,847(**)	,529(**)
TDS	-,336(*)	,363(*)	,689(**)	-0,134	,783(**)	,799(**)	,350(*)	,999(**)	1	,800(**)	,590(**)
Salin.	-,342(*)	0,231	,525(**)	-0,062	,687(**)	,644(**)	,462(**)	,847(**)	,800(**)	1	,415(**)
pH	-0,13	,288(*)	,780(**)	-0,004	,517(**)	,760(**)	,336(*)	,529(**)	,590(**)	,415(**)	1

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 14. Promedio mensual de los flujos de los compuestos de nitrógeno en los procesos de P, T y EC.

	Mes	Precipitación				Trascolación				Escorrentía cortical				Sumatoria Total	
		Media	Época	Min.	Máx.	Media	Época	Min.	Máx.	Media	Época	Min.	Máx.		
Vol. (mm)	jul	18,3	19,53	0,7	44,5	11,28	14,33	1,5	29,9	18,15	12,77	0,7	44,5	46,64	
	ago	10,4		7,2	7,2	8,15		4,4	14,2	7,20		7,2	7,2		
	sep	29,9		5,1	28,4	23,57		12,9	35	12,97		5,1	28,4		
	oct	76,1	76,79	13,9	267,2	76,15	62,26	15,6	288	68,46	48,01	13,9	267,2		187,06
	nov	103,0		16	143,5	70,66		11,8	146,9	51,38		16	143,5		
	dic	88,8		7,1	223,2	65,68		13,5	185,1	50,61		7,1	223,2		
	ene	39,2		8	39,1	36,57		6,3	66,2	21,60		8	39,1		
	Total	59,0		0,7	267,2	49,38		1,5	288	39,62		0,7	267,2		
NH ₄ ⁺ (mg/m ² /mes)	jul	2,50	3,07	7,94	54,02	9,38	16,54	3,05	18,9	23,14	20,94	7,94	54,02	40,55	
	ago	2,52		18,57	18,57	8,23		3,35	14,61	18,57		18,57			
	sep	4,18		9,69	54,62	32,02		7,38	88,15	21,11		9,69	54,62		
	oct	14,66	10,14	6,96	150,32	13,48	26,17	4,36	34,42	29,07	34,37	6,96	150,32		70,68
	nov	4,79		9,72	135,42	16,07		4,22	31,8	35,53		9,72	135,42		
	dic	12,72		6,89	259,33	40,37		6,78	112,11	46,80		6,89	259,33		
	ene	8,38		4,29	54,76	34,76		3,28	153,74	26,09		4,29	54,76		
	Total	7,11		4,29	259,33	22,04		3,05	153,74	28,62		4,29	259,33		
Sumatoria total	49,76				154,29				200,32						
NH ₃ (mg/m ² /mes)	jul	0,000	0,00	0	0,383	0,044	0,15	0	0,158	0,111	0,11	0	0,383	0,26	
	ago	0,000		0,079	0,079	0,021		0	0,052	0,079		0,079			
	sep	0,000		0,01	0,421	0,387		0	2,18	0,142		0,01	0,421		
	oct	0,000	0,01	0	0,267	0,008	0,01	0	0,065	0,059	0,10	0	0,267		0,12
	nov	0,000		0	0,705	0,000		0	0	0,218		0	0,705		
	dic	0,020		0	0,491	0,018		0	0,113	0,074		0	0,491		
	ene	0,000		0	0,117	0,027		0	0,132	0,044		0	0,117		
	Total	0,00		0	0,705	0,07		0	2,18	0,10		0	0,705		
Sumatoria total	0,02				0,51				0,73						
NO ₃ ⁻ (mg/m ² /mes)	jul	2,06	2,49	8,56	205,58	76,50	52,26	10,51	211,4	84,26	70,87	8,56	205,58	125,61	
	ago	3,12		56,19	56,19	31,62		16,76	59,92	56,19		56,19			
	sep	2,29		32,72	190,77	48,66		20,4	104,48	72,15		32,72	190,77		
	oct	4,49	5,67	23,76	12061	131,86	177,24	25,49	1331	1158,35	494,51	23,76	12061		677,41
	nov	6,80		51,66	503,14	308,40		40,73	612,18	154,57		51,66	503,14		
	dic	7,09		104,82	3415,18	211,29		12,78	796,47	591,46		104,82	3415,18		
	ene	4,31		19,19	276,29	57,39		9,63	315,18	73,64		19,19	276,29		
	Total	4,31		8,56	12061	123,68		9,63	1331	312,95		8,56	12061		
Sumatoria total	30,15				865,73				2190,62						
Sumatoria General	79,92				1020,52				2391,67						

Anexo 15. Promedio de los flujos de los compuestos de nitrógeno por época de lluvias en los procesos de P, T Y EC

		ÉPOCA 1			ÉPOCA 2		
		Mean	Min.	Máx	Mean	Min.	Máx
Vol.	P	17,4	13,8	130,1	74,5	4,0	33,3
	T	14,8	6,3	288,0	60,4	1,5	35
	EC	14,9	7,1	267,2	47,5	0,7	44,5
	Total	15,4	6,3	288,0	58,9	0,7	44,5
NH ₄ ⁺	P	2,88	0,80	47,34	10,962	1,750	5,17
	T	16,70	3,28	153,74	28,021	3,050	88,15
	EC	21,85	4,29	259,33	33,902	7,940	54,62
	Total	15,37	0,80	259,33	26,736	1,750	88,15
NH ₃	P	0,000	0,000	0,121	0,01	0,00	0
	T	0,154	0,000	0,132	0,02	0,00	2,18
	EC	0,123	0,000	0,705	0,08	0,00	0,421
	Total	0,112	0,000	0,705	0,03	0,00	2,18
NO ₃ ⁻	P	2,58	0,01	14,90	5,48	0,64	7,01
	T	58,67	9,63	1331,00	166,12	10,51	211,4
	EC	76,51	19,19	12061,00	606,92	8,56	205,58
	Total	52,32	0,01	12061,00	266,23	0,64	211,4

Anexo 16. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno agrupados por procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

		Precipitación				Trascolación				Escorrentía cortical			
		df	Media cuadrada	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.
Vol.	Entre	6	5648,3	7,622	0,000	6	8547,3	4,493	0,001	6	4019,0	1,731	0,135
	Dentro	26	741,1			80	1902,4			47	2321,2		
	Total	32				86				53			
NH ₄ ⁺	Entre	6	125,3	1,334	0,278	6	2234,0	3,572	0,003	6	719,2	0,387	0,884
	Dentro	26	94,0			80	625,4			47	1859,8		
	Total	32				86				53			
NH ₃	Entre	6	0,0	0,709	0,645	6	0,1	3,045	0,010	6	0,0	1,108	0,372
	Dentro	26	0,0			80	0,0			47	0,0		
	Total	32				86				53			
NO ₃ ²⁻	Entre	6	15,9	1,210	0,333	6	114492,1	3,485	0,004	6	1754682,9	0,589	0,738
	Dentro	26	13,2			80	32857,1			47	2981137,7		
	Total	32				86				53			

Anexo 17. Pruebas *Post Hoc* para ANOVA. Flujos de amonio (NH₄⁺), amoníaco (NH₃) y nitrato (NO₃⁼) (mg/m²/mes), agrupados procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

		Precipitación				Trascolación					
NH ₃							N	Subset for			
	MES							1	2		
	nov					9		0			
	oct					18		0,008			
	dic					19		0,018			
	ago					4		0,021			
	ene					20		0,027			
	jul					10		0,044			
	sep					7			0,387		
	Sig.							1	1		
NO ₃ ⁼	MES							1	2		
	ago					4		31,62			
	sep					7		48,66	48,66		
	ene					14		57,39	57,39		
	jul					10		76,5	76,5		
	oct					18		131,9	131,9		
	dic					19		211,3	211,3		
	nov					9			308,4		
	Sig.							0,411	0,066		
	VOL	MES		1	2	3	4	MES	1	2	3
ago		4	10,4				ago	4	8,15		
jul		3	18,3	18,3			jul	10	11,28	11,28	
sep		2	29,9	29,9	29,9		sep	7	23,57	23,57	23,57
ene		6	39,2	39,2	39,2		ene	20	36,57	36,57	36,57
oct		8		76,11	76,11	76,11	dic	19	65,68	65,68	65,68
dic		6			88,83	88,83	nov	9		70,66	70,66
nov		4				103	oct	18			76,15
Sig.			0,75	0,08	0,07	0,81	Sig.		0,08	0,07	0,15

Anexo 18. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas de lluvias. Factor: procesos hidrológicos (P, T y EC)

		ÉPOCA 1				ÉPOCA 2			
		df	Mean Square	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.
Vol.	Entre	2	22,9	0,190	0,828	2	5695,5	2,278	0,107
	Dentro	40	120,7			128	2500,2		
	Total	42				130			
NH ₄ ⁺	Entre	2	993,8	3,741	0,032	2	4093,2	3,643	0,029
	Dentro	40	265,6			128	1123,6		
	Total	42				130			
NH ₃	Entre	2	0,1	0,651	0,527	2	0,1	8,233	0,000
	Dentro	40	0,1			128	0,0		
	Total	42				130			
NO ₃ ²⁻	Entre	2	15360,2	5,172	0,010	2	3205830,1	2,503	0,086
	Dentro	40	2969,6			117	1281018,5		
	Total	42				119			

Anexo 19. Prueba *Post Hoc* para ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas de lluvias. Factor: procesos hidrológicos (P, T y EC)

		Época 1			Época 2			
NH4+	PROCES	N	Subset for alpha = .05		PROCES	N	Subset for alpha = .05	
	O		1	2	O		1	2
	P	9	2,881		P	24	10,962	
	T	21	16,704	16,704	T	66	28,021	28,021
	EC	13		21,853	EC	41		33,902
	Sig.		0,095	0,707	Sig.		0,073	0,731
NH3	PROCES				PROCES		1	2
	O				O			
	P	24	0,005		P	24		
	T	66	0,016		T	66		
	EC	41		0,082	EC	41		
	Sig.		0,870	1	Sig.			
NO3=	PROCES		1	2				
	O							
	P	9	2,58					
	T	21		58,672				
	EC	13		76,509				
	Sig.		1	0,689				

Anexo 20. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: época

		PRECIPITACION				TRASCOLACION				ESCORRENTIA CORTICAL			
		df	Mean Square	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.
Vol. (mm)	Dentro	1	21.400,1	20,889	0,000	1	33140,8	16,5	0,000	1	10451,7	4,4	0,040
	Entre	31	1.024,5			85	2004,0			52	2360,8		
	Total	32				86				53			
Flujo de NH ₄ ⁺	Dentro	1	427,4	4,787	0,036	1	2040,4	2,8	0,096	1	1433,0	0,8	0,368
	Entre	31	89,3			85	722,3			52	1736,4		
	Total	32				86				53			
Flujo de NH ₃	Dentro	1	0,0	0,368	0,549	1	0,3	5,8	0,018	1	0,0	0,7	0,409
	Entre	31	0,0			85	0,1			52	0,0		
	Total	32				86				53			
Flujo de NO ₃ ⁻	Dentro	1	55,0	4,456	0,043	1	179588,1	4,7	0,033	1	2687056,0	0,9	0,359
	Entre	31	12,3			79	38343,6			47	3126987,7		
	Total	32				80				48			
NH ₄ ⁺	Dentro	1	0,0	0,697	0,410	1	19,9	16,5	0,000	1	34,2	9,4	0,003
	Entre	31	0,0			85	1,2			52	3,6		
	Total	32				86				53			
NH ₃	Dentro	1	0,0	0,368	0,549	1	0,0	10,8	0,001	1	0,0	7,2	0,010
	Entre	31	0,0			85	0,0			52	0,0		
	Total	32				86				53			
NO ₃ ⁻	Dentro	1	0,3	0,112	0,740	1	83,2	9,5	0,003	1	4,3	0,2	0,660
	Entre	31	3,1			79	8,8			47	21,7		
	Total	32				80				48			
Cond	Dentro	1	195,8	17,694	0,000	1	36529,2	38,8	0,000	1	61656,0	50,1	0,000
	Entre	31	11,1			85	940,5			52	1229,9		
	Total	32				86				53			
TDS	Dentro	1	0,0	31,342	0,000	1	0,0	76,2	0,000	1	0,0	53,3	0,000
	Entre	28	0,0			75	0,0			46	0,0		
	Total	29				76				47			
SAL	Dentro	1	0,0	6,442	0,016	1	0,2	4,7	0,033	1	0,0	46,9	0,000
	Entre	31	0,0			85	0,0			52	0,0		
	Total	32				86				53			
PH	Dentro	1	1,3	6,080	0,019	1	5,8	58,3	0,000	1	0,2	0,9	0,342
	Entre	31	0,2			85	0,1			52	0,3		
	Total	32				86				53			

Anexo 21. ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas y procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

		ÉPOCA 1				ÉPOCA 2				
		df	Mean Square	F	Sig.	df	Mean Square	F	Sig.	
PRECIPITACIÓN	Vol.	Dentro	2	255,460	3,527	0,097	3	3992,986	4,240	0,018
		Entre	6	72,423			20	941,690		
		Total	8				23			
	NH ₄ ⁺	Dentro	2	2,169	2,021	0,213	3	106,735	0,876	0,470
		Entre	6	1,073			20	121,837		
		Total	8				23			
	NH ₃	Dentro	2	-	,	,	3	0,001	1,000	0,413
		Entre	6	-			20	0,001		
		Total	8				23			
	NO ₃ ²⁻	Dentro	2	1,073	0,203	0,821	3	12,793	0,824	0,496
		Entre	6	5,272			20	15,522		
		Total	8				23			
TRASCOLACIÓN	Vol.	Dentro	2	419,676	6,454	0,008	3	5767,777	2,368	0,079
		Entre	18	65,021			62	2435,886		
		Total	20				65			
	NH ₄ ⁺	Dentro	2	1.232,997	4,388	0,028	3	2965,877	4,089	0,010
		Entre	18	280,996			62	725,324		
		Total	20				65			
	NH ₃	Dentro	2	0,286	1,353	0,284	3	0,002	2,248	0,092
		Entre	18	0,212			62	0,001		
		Total	20				65			
	NO ₃ ²⁻	Dentro	2	3.404,726	0,998	0,388	3	135866,808	2,980	0,039
		Entre	18	3.410,888			56	45595,374		
		Total	20				59			
ESCORRENTÍA CORTICAL	Vol.	Dentro	2	72,544	0,420	0,668	3	4505,825	1,553	0,217
		Entre	10	172,703			37	2901,906		
		Total	12				40			
	NH ₄ ⁺	Dentro	2	12,020	0,039	0,962	3	952,817	0,418	0,741
		Entre	10	306,606			37	2279,556		
		Total	12				40			
	NH ₃	Dentro	2	0,002	0,094	0,911	3	0,045	1,966	0,136
		Entre	10	0,026			37	0,023		
		Total	12				40			
	NO ₃ ²⁻	Dentro	2	443,798	0,089	0,915	3	2289960,621	0,523	0,669
		Entre	10	4.965,786			32	4376499,837		
		Total	12				35			

Anexo 22 Pruebas *Post Hoc* para ANOVA de una vía para los flujos de los compuestos de nitrógeno, agrupados por épocas y procesos hidrológicos (P, T y EC). Factor: meses de muestreo

EPOCA=epoca 2 - PROCESO=T					
		N	Subset for alpha = .05		2
NH4+	MES		1	2	
	oct	18	13,478		
	nov	9	16,068	16,068	23,571
	ene	20	34,756	34,756	1
	dic	19		40,371	
	Sig.		0,148	0,077	
NO3=	MES		1	2	
	ene	14	57,392		
	oct	18	131,861	131,861	
	dic	19	211,292	211,292	
	nov	9		308,403	
	Sig.		0,244	0,145	

Anexo 23. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en el agua de Precipitación por época de lluvias. (Sig.: 2 colas)

ÉPOCA 1

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁼	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁼	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	0,533	,	-0,233	-,867(**)	,	-,750(*)	-,728(*)	-0,58	-0,311	-0,25
Flujo de NH ₄ ⁺	0,533	1	,	0,067	-0,1	,	-0,283	-0,192	-0,203	0,311	0,183
Flujo de NH ₃	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
Flujo de NO ₃ ⁼	-0,233	0,067	,	1	0,417	,	,800(**)	0,31	0,232	0	0,55
NH ₄ ⁺	-,867(**)	-0,1	,	0,417	1	,	,800(**)	,770(*)	0,783	0,518	0,417
NH ₃	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
NO ₃ ⁼	-,750(*)	-0,283	,	,800(**)	,800(**)	,	1	,695(*)	0,609	0,207	0,6
Cond	-,728(*)	-0,192	,	0,31	,770(*)	,	,695(*)	1	,971(**)	,728(*)	,711(*)
TDS	-0,58	-0,203	,	0,232	0,783	,	0,609	,971(**)	1	,840(*)	0,377
Salin.	-0,311	0,311	,	0	0,518	,	0,207	,728(*)	,840(*)	1	0,414
pH	-0,25	0,183	,	0,55	0,417	,	0,6	,711(*)	0,377	0,414	1

ÉPOCA 2

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁼	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁼	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,419(*)	-0,226	0,291	-0,149	-0,226	-0,268	0,37	0,368	,	-0,274
Flujo de NH ₄ ⁺	,419(*)	1	0,196	-0,157	,778(**)	0,196	-0,32	,459(*)	,506(*)	,	0,142
Flujo de NH ₃	-0,226	0,196	1	-0,166	0,256	1,000(**)	0,09	0,061	0,077	,	0,347
Flujo de NO ₃ ⁼	0,291	-0,157	-0,166	1	-,454(*)	-0,166	,618(**)	-0,308	-0,306	,	0,242
NH ₄ ⁺	-0,149	,778(**)	0,256	-,454(*)	1	0,256	-0,292	0,295	0,356	,	0,244
NH ₃	-0,226	0,196	1,000(**)	-0,166	0,256	1	0,09	0,061	0,077	,	0,347
NO ₃ ⁼	-0,268	-0,32	0,09	,618(**)	-0,292	0,09	1	-,520(**)	-,557(**)	,	,674(**)
Cond	0,37	,459(*)	0,061	-0,308	0,295	0,061	-,520(**)	1	,979(**)	,	-0,137
TDS	0,368	,506(*)	0,077	-0,306	0,356	0,077	-,557(**)	,979(**)	1	,	-0,131
Salin.	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
pH	-0,274	0,142	0,347	0,242	0,244	0,347	,674(**)	-0,137	-0,131	,	1

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 24. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en el agua de Trascaolación por época de lluvias. (Sig.: 2 colas)

ÉPOCA 1

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁼	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁼	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,495(*)	0,005	,478(*)	-,561(**)	-0,415	-,543(*)	-,508(*)	-,665(*)	-0,354	-0,354
Flujo de NH ₄ ⁺	,495(*)	1	,669(**)	,478(*)	0,384	,452(*)	-0,001	0,377	0,178	-0,041	0,372
Flujo de NH ₃	0,005	,669(**)	1	0,206	,653(**)	,881(**)	0,312	,607(**)	0,457	0,06	,881(**)
Flujo de NO ₃ ⁼	,478(*)	,478(*)	0,206	1	-0,195	-0,031	0,41	-0,139	0,082	-0,431	0,108
NH ₄ ⁺	-,561(**)	0,384	,653(**)	-0,195	1	,898(**)	,438(*)	,892(**)	,897(**)	0,373	,748(**)
NH ₃	-0,415	,452(*)	,881(**)	-0,031	,898(**)	1	,503(*)	,821(**)	,793(**)	0,23	,937(**)
NO ₃ ⁼	-,543(*)	-0,001	0,312	0,41	,438(*)	,503(*)	1	,435(*)	,661(*)	-0,033	,579(**)
Cond	-,508(*)	0,377	,607(**)	-0,139	,892(**)	,821(**)	,435(*)	1	,998(**)	,585(**)	,728(**)
TDS	-,665(*)	0,178	0,457	0,082	,897(**)	,793(**)	,661(*)	,998(**)	1	0,43	,703(*)
Salin.	-0,354	-0,041	0,06	-0,431	0,373	0,23	-0,033	,585(**)	0,43	1	0,159
pH	-0,354	0,372	,881(**)	0,108	,748(**)	,937(**)	,579(**)	,728(**)	,703(*)	0,159	1

ÉPOCA 2

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁼	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁼	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,550(**)	-0,083	,517(**)	-,305(*)	-0,074	-0,194	-,262(*)	-0,24	-0,232	-0,194
Flujo de NH ₄ ⁺	,550(**)	1	,481(**)	,346(**)	,492(**)	,345(**)	-0,044	0,215	0,092	0,136	-0,019
Flujo de NH ₃	-0,083	,481(**)	1	-0,033	,512(**)	,708(**)	-0,009	,371(**)	,390(**)	,283(*)	,456(**)
Flujo de NO ₃ ⁼	,517(**)	,346(**)	-0,033	1	-0,135	-0,251	,559(**)	-0,176	-,302(*)	-0,108	-0,042
NH ₄ ⁺	-,305(*)	,492(**)	,512(**)	-0,135	1	,640(**)	0,202	,638(**)	,487(**)	,484(**)	0,153
NH ₃	-0,074	,345(**)	,708(**)	-0,251	,640(**)	1	-0,018	,535(**)	,508(**)	,363(**)	,447(**)
NO ₃ ⁼	-0,194	-0,044	-0,009	,559(**)	0,202	-0,018	1	0,225	0,091	0,248	0,083
Cond	-,262(*)	0,215	,371(**)	-0,176	,638(**)	,535(**)	0,225	1	,793(**)	,810(**)	,287(*)
TDS	-0,24	0,092	,390(**)	-,302(*)	,487(**)	,508(**)	0,091	,793(**)	1	,646(**)	0,213
Salin.	-0,232	0,136	,283(*)	-0,108	,484(**)	,363(**)	0,248	,810(**)	,646(**)	1	,300(*)
pH	-0,194	-0,019	,456(**)	-0,042	0,153	,447(**)	0,083	,287(*)	0,213	,300(*)	1

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 25. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en el agua de Escorrentía Cortical, por época de lluvias (sig.=2-colas)

ÉPOCA 1

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁼	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁼	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,747(**)	0,028	,857(**)	-0,505	-0,388	-0,225	-0,418	-0,357	-0,45	-0,349
Flujo de NH ₄ ⁺	,747(**)	1	0,473	,940(**)	0,137	0,168	0,368	0,209	0,571	0,178	0,102
Flujo de NH ₃	0,028	0,473	1	0,3	,735(**)	,883(**)	,633(*)	,594(*)	0,667	,593(*)	,893(**)
Flujo de NO ₃ ⁼	,857(**)	,940(**)	0,3	1	-0,132	-0,074	0,187	-0,033	0,571	-0,067	-0,058
NH ₄ ⁺	-0,505	0,137	,735(**)	-0,132	1	,926(**)	,797(**)	,852(**)	,893(**)	,867(**)	,806(**)
NH ₃	-0,388	0,168	,883(**)	-0,074	,926(**)	1	,744(**)	,771(**)	,757(*)	,786(**)	,932(**)
NO ₃ ⁼	-0,225	0,368	,633(*)	0,187	,797(**)	,744(**)	1	,714(**)	,893(**)	,733(**)	,655(*)
Cond	-0,418	0,209	,594(*)	-0,033	,852(**)	,771(**)	,714(**)	1	1,000(**)	,989(**)	,627(*)
TDS	-0,357	0,571	0,667	0,571	,893(**)	,757(*)	,893(**)	1,000(**)	1	,982(**)	0,714
Salin.	-0,45	0,178	,593(*)	-0,067	,867(**)	,786(**)	,733(**)	,989(**)	,982(**)	1	,637(*)
pH	-0,349	0,102	,893(**)	-0,058	,806(**)	,932(**)	,655(*)	,627(*)	0,714	,637(*)	1

ÉPOCA 2

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁼	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁼	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,618(**)	0,207	,635(**)	-0,286	-0,181	-0,051	-0,079	-0,081	0,005	0,004
Flujo de NH ₄ ⁺	,618(**)	1	,723(**)	,538(**)	,543(**)	,471(**)	0,239	,529(**)	,525(**)	,402(**)	,374(*)
Flujo de NH ₃	0,207	,723(**)	1	0,245	,649(**)	,862(**)	0,322	,779(**)	,775(**)	,529(**)	,740(**)
Flujo de NO ₃ ⁼	,635(**)	,538(**)	0,245	1	-0,002	0,022	,644(**)	0,025	0,014	0,245	0,095
NH ₄ ⁺	-0,286	,543(**)	,649(**)	-0,002	1	,784(**)	,396(*)	,730(**)	,730(**)	,496(**)	,451(**)
NH ₃	-0,181	,471(**)	,862(**)	0,022	,784(**)	1	,347(*)	,815(**)	,815(**)	,549(**)	,717(**)
NO ₃ ⁼	-0,051	0,239	0,322	,644(**)	,396(*)	,347(*)	1	0,264	0,254	,382(*)	0,308
Cond	-0,079	,529(**)	,779(**)	0,025	,730(**)	,815(**)	0,264	1	,998(**)	,657(**)	,630(**)
TDS	-0,081	,525(**)	,775(**)	0,014	,730(**)	,815(**)	0,254	,998(**)	1	,661(**)	,641(**)
Salin.	0,005	,402(**)	,529(**)	0,245	,496(**)	,549(**)	,382(*)	,657(**)	,661(**)	1	,407(**)
pH	0,004	,374(*)	,740(**)	0,095	,451(**)	,717(**)	0,308	,630(**)	,641(**)	,407(**)	1

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 26. Correlación de Spearman para los flujos de los compuestos de nitrógeno en todos los procesos durante todo el periodo de muestreo. Precipitación: N=33; Trascología: N=87 (F. nitrato: N=81); Escorrentía cortical: N= 54 (nitrato: N=49). Sig. 2-colas

PRECIPITACIÓN

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,630(**)	-0,056	,431(*)	-,392(*)	-0,056	-,354(*)	-0,281	-0,224	-,360(*)	-,546(**)
Flujo de NH ₄ ⁺	,630(**)	1	0,204	0,048	,385(**)	0,204	-,398(**)	0	0,066	-0,16	-0,186
Flujo de NH ₃	-0,056	0,204	1	-0,093	0,223	1,000(**)	0,046	-0,028	-0,011	-0,045	0,297
Flujo de NO ₃ ⁻	,431(*)	0,048	-0,093	1	-,371(*)	-0,093	,464(**)	-0,264	-0,316	-0,04	-0,005
NH ₄ ⁺	-,392(*)	,385(*)	0,223	-,371(*)	1	0,223	0,007	,425(*)	,439(*)	0,273	,411(*)
NH ₃	-0,056	0,204	1,000(**)	-0,093	0,223	1	0,046	-0,028	-0,011	-0,045	0,297
NO ₃ ⁻	-,354(*)	-,398(*)	0,046	,464(**)	0,007	0,046	1	-0,06	-0,163	0,187	,639(**)
Cond	-0,281	0	-0,028	-0,264	,425(*)	-0,028	-0,06	1	,984(**)	,415(*)	0,29
TDS	-0,224	0,066	-0,011	-0,316	,439(*)	-0,011	-0,163	,984(**)	1	,439(*)	0,29
Salin.	-,360(*)	-0,16	-0,045	-0,04	0,273	-0,045	0,187	,415(*)	,439(*)	1	0,307
pH	-,546(**)	-0,186	0,297	-0,005	,411(*)	0,297	,639(**)	0,29	0,29	0,307	1

TRASCOLACIÓN

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,583(**)	-,292(**)	,595(**)	-,438(**)	-,383(**)	-,368(**)	-,492(**)	-,406(**)	-,420(**)	-,474(**)
Flujo de NH ₄ ⁺	,583(**)	1	,323(**)	,419(**)	,343(**)	0,152	-0,132	0,045	0,047	-0,045	-0,141
Flujo de NH ₃	-,292(**)	,323(**)	1	-0,117	,630(**)	,815(**)	0,175	,548(**)	,505(**)	,407(**)	,650(**)
Flujo de NO ₃ ⁻	,595(**)	,419(**)	-0,117	1	-,262(*)	-,314(**)	,364(**)	-,331(**)	-,389(**)	-,324(**)	-0,196
NH ₄ ⁺	-,438(**)	,343(**)	,630(**)	-,262(*)	1	,732(**)	,296(**)	,729(**)	,587(**)	,567(**)	,400(**)
NH ₃	-,383(**)	0,152	,815(**)	-,314(**)	,732(**)	1	,233(*)	,706(**)	,619(**)	,509(**)	,688(**)
NO ₃ ⁻	-,368(**)	-0,132	0,175	,364(**)	,296(**)	,233(*)	1	,348(**)	0,136	,287(**)	,306(**)
Cond	-,492(**)	0,045	,548(**)	-,331(**)	,729(**)	,706(**)	,348(**)	1	,840(**)	,814(**)	,576(**)
TDS	-,406(**)	0,047	,505(**)	-,389(**)	,587(**)	,619(**)	0,136	,840(**)	1	,733(**)	,420(**)
Salin.	-,420(**)	-0,045	,407(**)	-,324(**)	,567(**)	,509(**)	,287(**)	,814(**)	,733(**)	1	,492(**)
pH	-,474(**)	-0,141	,650(**)	-0,196	,400(**)	,688(**)	,306(**)	,576(**)	,420(**)	,492(**)	1

ESCORRENTÍA CORTICAL

	Vol. (mm)	Flujo de NH ₄ ⁺	Flujo de NH ₃	Flujo de NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	Cond	TDS	Salin.	pH
Vol. (mm)	1	,614(**)	0,065	,704(**)	-,448(**)	-,347(*)	-0,2	-,370(**)	-,336(*)	-,342(*)	-0,13
Flujo de NH ₄ ⁺	,614(**)	1	,638(**)	,596(**)	,386(**)	,340(*)	0,2	,314(*)	,363(*)	0,231	,288(*)
Flujo de NH ₃	0,065	,638(**)	1	0,165	,669(**)	,864(**)	,399(**)	,664(**)	,689(**)	,525(**)	,780(**)
Flujo de NO ₃ ⁻	,704(**)	,596(**)	0,165	1	-0,178	-0,137	,460(**)	-0,167	-0,134	-0,062	-0,004
NH ₄ ⁺	-,448(**)	,386(**)	,669(**)	-0,178	1	,830(**)	,499(**)	,801(**)	,783(**)	,687(**)	,517(**)
NH ₃	-,347(*)	,340(*)	,864(**)	-0,137	,830(**)	1	,419(**)	,782(**)	,799(**)	,644(**)	,760(**)
NO ₃ ⁻	-0,2	0,2	,399(**)	,460(**)	,499(**)	,419(**)	1	,403(**)	,350(*)	,462(**)	,336(*)
Cond	-,370(**)	,314(*)	,664(**)	-0,167	,801(**)	,782(**)	,403(**)	1	,999(**)	,847(**)	,529(**)
TDS	-,336(*)	,363(*)	,689(**)	-0,134	,783(**)	,799(**)	,350(*)	,999(**)	1	,800(**)	,590(**)
Salin.	-,342(*)	0,231	,525(**)	-0,062	,687(**)	,644(**)	,462(**)	,847(**)	,800(**)	1	,415(**)
pH	-0,13	,288(*)	,780(**)	-0,004	,517(**)	,760(**)	,336(*)	,529(**)	,590(**)	,415(**)	1

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 27. Promedios mensuales de los flujos de: precipitación neta (PN), flujo neto (FN), flujo neto de trascolación (FNT), flujo neto de escorrentía cortical (FNEC), tasa de depositación de trascolación Vs. precipitación (TDT), tasa de depositación de escorrentía cortical Vs. precipitación (TDEC). Valores dados en mg/m²/mes

AMONIO

	Mes	PN=FT+FEC		FN=FT+FEC-FP		TDT=(FT/FP)		TDEC=(FEC/FP)	
Época 1	jul	32,5	37,5	30,0	34,4	3,7	4,9	9,2	7,2
	ago	26,8		24,3		3,3		7,4	
	sep	53,1		48,9		7,7		5,1	
Época 2	oct	42,6	60,5	27,9	50,4	0,9	2,9	2,0	4,0
	nov	51,6		46,8		3,4		7,4	
	dic	87,2		74,5		3,2		3,7	
	ene	60,8		52,5		4,1		3,1	
	Total	56,3		47,5		2,9		3,5	

AMONÍACO

	Mes	PN=FT+FEC		FN=FT+FEC-FP		TDT=(FT/FP)		TDEC=(FEC/FP)	
Época 1	jul	0,2	0,3	0,2	0,3	E	E	E	E
	ago	0,1		0,1		E		E	
	sep	0,5		0,5		E		E	
Época 2	oct	0,1	0,1	0,1	0,1	E	E	E	E
	nov	0,2		0,2		E		E	
	dic	0,1		0,1		0,9		3,7	
	ene	0,1		0,1		E		E	
	Total	0,2		0,2		E		E	

NITRATO

	Mes	PN=FT+FEC		FN=FT+FEC-FP		TDT=(FT/FP)		TDEC=(FEC/FP)	
Época 1	jul	160,8	123,1	158,7	120,6	37,2	22,9	41,0	30,2
	ago	87,8		84,7		10,1		18,0	
	sep	120,8		118,5		21,2		31,5	
Época 2	oct	1290,2	671,7	1285,7	666,1	29,4	29,5	258,0	95,3
	nov	463,0		456,2		45,4		22,7	
	dic	802,8		795,7		29,8		83,5	
	ene	131,0		126,7		13,3		17,1	
	Total	436,6		432,3		26,6		67,4	

Anexo 28. Datos no procesados estadísticamente de cada colector o muestra compuesta.

Época	Mes	Proceso	Volumen (mm)	Conduct. (μS/cm)	TDS (g/L)	salinidad (ppt)	pH (unidades)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Lluvias escasas	Jul	precipitación	4,00	9,00	SD	0,00	5,44	0,460	0,000	1,035
Lluvias escasas	Jul	precipitación	17,60	7,40	SD	0,00	5,32	0,118	0,000	0,047
Lluvias escasas	Jul	precipitación	33,30	5,00	SD	0,00	5,22	0,108	0,000	0,037
Lluvias escasas	Ago	precipitación	9,60	14,80	0,010	0,01	5,49	0,286	0,000	0,067
Lluvias escasas	Ago	precipitación	9,10	13,00	0,008	0,00	5,85	0,201	0,000	0,161
Lluvias escasas	Ago	precipitación	11,40	22,40	0,014	0,01	6,38	0,329	0,000	0,616
Lluvias escasas	Ago	precipitación	11,50	13,00	0,009	0,00	5,89	0,152	0,000	0,291
Lluvias escasas	Sep	precipitación	29,80	8,00	0,005	0,00	5,99	0,174	0,000	0,101
Lluvias escasas	Sep	precipitación	30,00	6,80	0,005	0,00	5,47	0,106	0,000	0,053
Lluvias escasas	Jul	trascolación	1,50	120,60	SD	0,04	7,16	4,315	0,040	7,178
Lluvias escasas	Jul	trascolación	3,50	43,80	SD	0,02	6,54	2,080	0,005	3,400
Lluvias escasas	Jul	trascolación	2,00	163,10	SD	0,08	7,03	7,909	0,051	14,908
Lluvias escasas	Jul	trascolación	17,20	47,90	SD	0,02	6,81	0,773	0,003	12,300
Lluvias escasas	Jul	trascolación	29,90	22,00	SD	0,01	6,7	0,387	0,001	6,219
Lluvias escasas	Jul	trascolación	8,20	30,00	SD	0,01	6,54	0,507	0,001	5,552
Lluvias escasas	Jul	trascolación	12,50	85,00	SD	0,00	7,24	1,512	0,013	13,116
Lluvias escasas	Jul	trascolación	6,40	35,20	SD	0,01	6,46	0,479	0,001	3,995
Lluvias escasas	Jul	trascolación	18,40	29,00	SD	0,02	6,2	0,454	0,000	3,010
Lluvias escasas	Jul	trascolación	13,20	19,00	SD	0,01	6,3	0,397	0,000	1,940
Lluvias escasas	Ago	trascolación	4,40	168,00	0,109	0,08	7,16	1,601	0,012	3,817
Lluvias escasas	Ago	trascolación	14,20	78,00	0,051	0,04	6,35	1,028	0,001	4,217
Lluvias escasas	Ago	trascolación	5,70	125,00	0,081	0,06	6,6	1,400	0,003	4,532
Lluvias escasas	Ago	trascolación	8,30	37,00	0,024	0,02	6,37	0,406	0,000	2,924
Lluvias escasas	Sep	trascolación	23,50	67,00	0,044	0,03	6,78	1,246	0,005	0,973
Lluvias escasas	Sep	trascolación	32,80	71,00	0,046	0,03	6,82	1,462	0,006	1,256
Lluvias escasas	Sep	trascolación	17,60	42,80	0,028	0,02	6,35	0,695	0,001	1,162
Lluvias escasas	Sep	trascolación	17,90	90,00	0,059	0,04	7	1,278	0,009	3,786
Lluvias escasas	Sep	trascolación	12,90	124,40	0,081	0,01	7,56	6,809	0,168	8,070
Lluvias escasas	Sep	trascolación	35,00	31,40	0,021	0,01	6,13	0,466	0,000	1,257
Lluvias escasas	Sep	trascolación	25,30	18,80	0,012	0,01	6,46	0,292	0,001	1,585
Lluvias escasas	Jul	Escortical	0,70	127,80	SD	0,06	7,36	15,182	0,204	12,776
Lluvias escasas	Jul	Escortical	7,10	29,00	SD	0,01	6,45	1,124	0,002	2,791
Lluvias escasas	Jul	Escortical	44,50	77,00	SD	0,03	7,07	1,214	0,009	4,620
Lluvias escasas	Jul	Escortical	5,40	146,60	SD	0,07	7,02	2,194	0,013	4,780
Lluvias escasas	Jul	Escortical	22,90	90,40	SD	0,04	5,8	1,524	0,003	4,413
Lluvias escasas	Jul	Escortical	28,30	54,00	SD	0,02	5,11	0,703	0,000	5,115
Lluvias escasas	Ago	Escortical	7,20	213,00	0,139	0,10	6,93	2,573	0,011	7,785
Lluvias escasas	Sep	Escortical	12,00	82,60	0,054	0,04	6,75	1,718	0,007	5,898
Lluvias escasas	Sep	Escortical	28,40	103,00	0,067	0,05	7,07	1,922	0,015	6,712
Lluvias escasas	Sep	Escortical	5,10	274,00	0,178	0,13	7,45	3,615	0,060	10,564
Lluvias escasas	Sep	Escortical	10,70	63,00	0,041	0,03	6,55	0,904	0,002	3,053
Lluvias escasas	Sep	Escortical	9,70	64,60	0,042	0,03	6,32	1,146	0,001	4,330
Lluvias escasas	Sep	Escortical	11,90	91,00	0,059	0,04	5,48	1,035	0,001	3,618

SD: Sin dato; NV: Dato No válido

Continuación Anexo 28...

Época	Mes	Proceso	Volumen (mm)	Conduct. (µS/cm)	TDS (g/L)	salinidad (ppt)	pH (unidades)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	30,30	9,20	0,006	0,00	5,16	0,215	0,000	0,054
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	57,60	8,00	0,005	0,00	5,22	0,190	0,000	0,060
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	60,00	7,60	0,005	0,00	5,05	0,125	0,000	0,041
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	58,90	6,00	0,004	0,00	5,16	0,062	0,000	0,034
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	46,30	7,00	0,004	0,00	5,62	0,286	0,000	0,076
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	116,60	6,80	0,005	0,00	5,74	0,406	0,000	0,128
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	119,00	9,60	0,006	0,00	5,01	0,148	0,000	0,035
Lluvias abundantes	Oct	precipitación	120,20	9,00	0,006	0,00	4,97	0,087	0,000	0,031
Lluvias abundantes	Nov	precipitación	96,50	4,40	0,003	0,00	5	0,068	0,000	0,069
Lluvias abundantes	Nov	precipitación	101,60	8,00	0,005	0,00	4,77	0,060	0,000	0,062
Lluvias abundantes	Nov	precipitación	107,60	6,00	0,004	0,00	4,88	0,034	0,000	0,057
Lluvias abundantes	Nov	precipitación	106,30	5,00	0,003	0,00	5	0,028	0,000	0,075
Lluvias abundantes	Dic	precipitación	104,20	6,00	0,004	0,00	5,21	0,174	0,000	0,059
Lluvias abundantes	Dic	precipitación	118,30	4,00	0,003	0,00	5,43	0,169	0,000	0,122
Lluvias abundantes	Dic	precipitación	130,10	5,00	0,003	0,00	4,97	0,075	0,000	0,045
Lluvias abundantes	Dic	precipitación	105,70	4,00	0,003	0,00	5,11	0,090	0,000	0,059
Lluvias abundantes	Dic	precipitación	37,90	6,00	0,004	0,00	7,08	0,361	0,003	0,075
Lluvias abundantes	Dic	precipitación	36,80	3,00	0,002	0,00	5,68	0,138	0,000	0,190
Lluvias abundantes	Ene	precipitación	41,40	3,00	0,002	0,00	5,06	0,050	0,000	0,205
Lluvias abundantes	Ene	precipitación	45,50	2,20	0,002	0,00	5,18	0,032	0,000	0,207
Lluvias abundantes	Ene	precipitación	31,40	3,00	0,002	0,00	5,34	0,025	0,000	0,238
Lluvias abundantes	Ene	precipitación	51,60	4,00	0,003	0,00	4,65	0,693	0,000	0,000
Lluvias abundantes	Ene	precipitación	13,80	4,00	0,003	0,00	4,72	0,369	0,000	0,000
Lluvias abundantes	Ene	precipitación	51,50	3,00	0,002	0,00	5,46	0,099	0,000	10,000
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	16,70	21,80	0,014	0,01	6,37	0,272	0,001	1,847
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	53,60	24,60	0,016	0,01	6,34	0,373	0,001	1,166
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	64,70	20,60	0,014	0,01	6,47	0,532	0,001	1,638
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	46,50	19,20	0,012	0,01	6,5	0,307	0,000	1,910
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	37,60	12,00	0,008	0,01	6,28	0,152	0,000	0,825
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	62,90	14,00	0,009	0,01	5,46	0,139	0,000	0,405
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	15,60	26,80	0,017	0,01	6,44	0,279	0,000	2,740
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	72,20	9,40	0,006	0,01	6,31	0,127	0,000	0,924
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	88,50	18,00	0,012	0,00	6,09	0,280	0,000	0,541
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	28,90	11,00	0,007	0,00	6,38	0,169	0,000	0,460
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	179,00	11,00	0,007	0,00	6,1	0,156	0,000	0,382
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	90,60	11,00	0,007	0,00	6,3	0,106	0,000	1,131
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	62,40	15,20	0,010	0,01	6,1	0,220	0,000	0,995
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	73,60	13,60	0,009	0,01	6,28	0,196	0,000	1,359
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	59,50	12,00	0,008	0,00	6,17	0,131	0,000	0,690
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	288,00	10,80	0,007	0,00	5,18	0,079	0,000	0,193
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	25,30	18,00	0,012	0,01	6,23	0,185	0,000	2,096
Lluvias abundantes	Oct	trascolación	105,10	8,00	0,050	0,00	6,1	0,102	0,000	0,552
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	44,50	47,20	0,003	0,02	6,43	0,715	0,000	11,826
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	11,80	16,00	0,046	0,01	6,05	0,359	0,000	3,465
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	130,10	16,20	0,010	0,01	6,23	0,236	0,000	4,704
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	146,90	12,00	0,008	0,00	5,64	0,153	0,000	2,471
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	28,00	19,20	0,012	0,01	5,71	0,300	0,000	4,020
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	51,70	18,40	0,012	0,01	5,98	0,263	0,000	4,769
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	101,40	12,80	0,008	0,00	5,39	0,122	0,000	1,723
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	94,00	11,80	0,007	0,00	5,82	0,141	0,000	5,414
Lluvias abundantes	Nov	trascolación	27,50	20,00	0,013	0,01	6,08	0,281	0,000	6,914
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	14,10	24,00	0,016	0,01	5,95	0,753	0,000	0,909
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	112,80	21,00	0,014	0,01	6,38	0,864	0,001	2,046
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	125,10	25,00	0,016	0,01	5,88	0,896	0,000	2,061
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	185,10	9,00	0,006	0,00	5,62	0,390	0,000	1,538
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	79,60	16,60	0,011	0,01	5,56	0,715	0,000	2,067
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	85,90	23,00	0,015	0,01	6,22	0,753	0,001	9,276
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	68,80	10,20	0,007	0,00	6,37	0,388	0,001	4,439
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	165,50	13,00	0,008	0,00	5,81	0,427	0,000	1,672
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	21,00	15,20	0,010	0,01	6,18	0,480	0,000	6,038
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	122,50	9,00	0,006	0,00	6,21	0,378	0,000	4,116
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	13,50	22,00	0,014	0,01	6,45	0,708	0,001	3,385
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	25,70	27,20	0,018	0,01	6,48	0,901	0,001	2,636
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	47,20	36,00	0,024	0,02	6,15	1,564	0,001	5,440
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	56,40	8,00	0,005	0,00	6,1	0,367	0,000	2,182
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	18,80	17,40	0,011	0,01	5,96	0,785	0,000	5,287
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	14,70	15,60	0,010	0,01	6,41	0,463	0,000	10,674
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	30,50	15,60	0,010	0,01	6,16	0,686	0,000	4,446
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	38,80	13,00	0,008	0,00	5,52	0,447	0,000	1,757
Lluvias abundantes	Dic	trascolación	21,90	13,20	0,009	0,00	5,85	0,564	0,000	4,619

SD: Sin dato; NV: Dato No válido

Continuación Anexo 28...

Época	Mes	Proceso	Volumen (mm)	Conduct. (µS/cm)	TDS (g/L)	salinidad (ppt)	pH (unidades)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Lluvias abundantes	Ene	trascología	6,30	14,00	0,009	0,00	6,26	0,811	0,001	2,459
Lluvias abundantes	Ene	trascología	38,20	20,00	0,013	0,01	5,93	0,525	0,000	2,261
Lluvias abundantes	Ene	trascología	56,70	19,00	0,012	0,01	5,98	0,460	0,000	1,775
Lluvias abundantes	Ene	trascología	62,10	37,00	0,024	0,02	5,97	1,260	0,001	5,559
Lluvias abundantes	Ene	trascología	33,20	9,00	0,006	0,00	6,11	0,293	0,000	NV
Lluvias abundantes	Ene	trascología	18,10	19,00	0,012	0,01	5,91	0,629	0,000	NV
Lluvias abundantes	Ene	trascología	12,90	15,00	0,010	0,01	6,22	0,457	0,000	NV
Lluvias abundantes	Ene	trascología	62,50	33,00	0,022	0,02	6,34	0,855	0,001	NV
Lluvias abundantes	Ene	trascología	54,60	14,00	0,009	0,01	5,69	0,362	0,000	NV
Lluvias abundantes	Ene	trascología	7,30	13,00	0,008	0,00	6,03	0,381	0,000	NV
Lluvias abundantes	Ene	trascología	18,50	17,40	0,012	0,01	6,27	0,526	0,000	1,320
Lluvias abundantes	Ene	trascología	41,20	44,40	0,027	0,02	6,34	1,970	0,002	1,250
Lluvias abundantes	Ene	trascología	66,20	31,20	0,020	0,01	6,52	2,019	0,003	1,007
Lluvias abundantes	Ene	trascología	51,50	40,60	0,026	0,02	6,22	2,322	0,002	0,956
Lluvias abundantes	Ene	trascología	42,10	14,60	0,009	0,01	6,11	1,034	0,001	1,012
Lluvias abundantes	Ene	trascología	11,30	13,00	0,009	0,00	6,03	0,914	0,001	0,701
Lluvias abundantes	Ene	trascología	19,90	29,60	0,020	0,01	6,19	1,818	0,001	1,535
Lluvias abundantes	Ene	trascología	57,70	196,00	0,013	0,01	6,09	0,949	0,001	0,537
Lluvias abundantes	Ene	trascología	26,30	17,40	0,011	0,01	5,75	0,694	0,000	0,170
Lluvias abundantes	Ene	trascología	44,70	11,80	0,008	0,00	6,17	0,621	0,000	1,495
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	23,00	36,00	0,023	0,00	6,7	0,761	0,002	1,662
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	61,80	38,00	0,025	0,00	6,87	0,639	0,001	1,863
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	13,90	76,60	0,050	0,03	7,13	1,876	0,015	3,174
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	20,40	25,00	0,016	0,01	6,49	0,408	0,001	1,166
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	18,50	23,40	0,015	0,01	6,3	0,377	0,001	1,347
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	57,20	22,00	0,014	0,01	5,62	0,289	0,001	0,747
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	94,30	15,60	0,010	0,01	6,22	0,287	0,000	1,645
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	267,20	39,00	0,026	0,02	6,76	0,563	0,001	4,044
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	28,20	36,00	0,024	0,02	6,87	0,450	0,001	3,953
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	53,30	18,00	0,012	0,01	6,58	0,199	0,000	1,868
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	40,30	19,00	0,013	0,01	6,3	0,324	0,000	2,573
Lluvias abundantes	Oct	Escortical	143,40	14,00	0,009	0,01	5,74	0,141	0,000	0,841
Lluvias abundantes	Nov	Escortical	37,50	29,00	0,019	0,01	7,5	0,905	0,019	1,811
Lluvias abundantes	Nov	Escortical	143,50	44,00	0,029	0,02	6,86	0,944	0,004	3,507
Lluvias abundantes	Nov	Escortical	16,00	50,00	0,032	0,02	6,54	0,725	0,002	3,230
Lluvias abundantes	Nov	Escortical	37,40	18,00	0,012	0,01	6,19	0,260	0,000	1,677
Lluvias abundantes	Nov	Escortical	23,30	24,00	0,015	0,01	5,84	0,486	0,000	3,455
Lluvias abundantes	Nov	Escortical	50,60	19,00	0,013	0,01	5,45	0,221	0,000	3,192
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	44,60	28,00	0,018	0,01	6,09	1,013	0,001	5,798
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	223,20	37,00	0,024	0,02	6,64	1,162	0,002	15,300
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	41,80	42,40	0,028	0,02	6,53	1,100	0,002	11,010
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	62,40	21,00	0,013	0,01	6,6	0,731	0,001	12,092
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	27,00	21,00	0,013	0,01	6,24	0,688	0,001	6,499
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	71,50	15,60	0,010	0,01	5,81	0,422	0,000	3,554
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	29,60	34,00	0,022	0,01	6,56	1,166	0,002	20,922
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	7,10	31,00	0,020	0,01	6,64	0,965	0,002	15,902
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	14,70	18,00	0,012	0,01	6,64	0,591	0,001	15,350
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	12,60	22,00	0,014	0,01	6,04	0,889	0,001	8,287
Lluvias abundantes	Dic	Escortical	22,20	14,00	0,009	0,01	5,84	0,390	0,000	5,591
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	11,30	40,00	0,026	0,02	6,45	1,219	0,002	NV
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	39,10	45,80	0,030	0,02	6,77	1,188	0,002	NV
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	32,10	52,80	0,034	0,02	6,7	1,247	0,003	NV
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	25,10	19,00	0,013	0,01	6,66	0,503	0,001	NV
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	8,00	17,00	0,011	0,01	6,33	0,539	0,001	2,940
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	12,90	18,00	0,012	0,01	6,17	0,514	0,000	NV
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	23,40	25,60	0,017	0,01	6,03	1,367	0,001	1,187
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	29,30	46,00	0,030	0,02	6,62	1,868	0,004	9,425
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	10,90	65,00	0,042	0,03	6,75	2,930	0,008	7,317
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	27,10	21,60	0,014	0,01	6,63	1,096	0,002	2,491
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	13,20	22,00	0,015	0,01	6,28	1,185	0,001	1,449
Lluvias abundantes	Ene	Escortical	26,80	22,00	0,014	0,01	5,86	0,941	0,000	0,819

SD: Sin dato; NV: Dato No válido

Anexo 32. Formato de registro de información para el cálculo de la altura del árbol.

CARACTERIZACIÓN DE LA MORFOLOGÍA ARBÓREA: **ALTURA DEL ÁRBOL**

Fecha de muestreo: ____/____/____ Salida No.____ Página No.:____

Lugar: Humedal Hacienda "El Manzanar", Municipio de Popayán, Depto. Del Cauca

Responsable: Martha Lucía Burbano Garcés

No.	Código. Árbol (Proceso)	Réplicas	Altura ojo del observador (m)	Distancia al árbol (m)	Ángulo
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			
		1			
		2			
		3			

Anexo 33. Formato para la captura de información para el cálculo del epifitismo

CARACTERIZACIÓN DE LA MORFOMETRÍA ARBÓREA:
EPIFITISMO

Fecha de muestreo: ____/____/____ Salida No. _____ Hoja No.: _____

Lugar: Humedal Hacienda "El Manzanar", Municipio de Popayán, Depto. Del Cauca

Responsable: Martha Lucia Burbano Garcés

No.	Cód. Árbol (Proceso)	Descripción especie	Réplicas (dirección)	No. Total ramas	No. Ramas con Epífitas	Promedio Total ramas	Promedio ramas con epífitas
			N				
			E				
			S				
			W				
			N				
			E				
			S				
			W				
			N				
			E				
			S				
			W				
			N				
			E				
			S				
			W				
			N				
			E				
			S				
			W				
			N				
			E				
			S				
			W				

Anexo 34. Formato de registro para el cálculo del área de proyección de la copa arbórea

CARACTERIZACIÓN DE LA MORFOMETRÍA ARBÓREA: AREA DE PROYECCIÓN DE LA COPA

Fecha de muestreo: ____/____/____ Salida No. _____

Hoja No.: _____

Lugar: Humedal Hacienda "El Manzanar", Municipio de Popayán, Depto. Del Cauca
 Responsable: Martha Lucia Burbano Garcés

No.	Cód. Árbol (Proceso)	Especie	Direc.	Radio (m)
			N	
			NE	
			E	
			SE	
			S	
			SW	
			W	
			NW	
			N	
			NE	
			E	
			SE	
			S	
			SW	
			W	
			NW	
			N	
			NE	
			E	
			SE	
			S	
			SW	
			W	
			NW	

No.	Cód. Árbol (Proceso)	Especie	Direc.	Radio (m)
			N	
			NE	
			E	
			SE	
			S	
			SW	
			W	
			NW	
			N	
			NE	
			E	
			SE	
			S	
			SW	
			W	
			NW	
			N	
			NE	
			E	
			SE	
			S	
			SW	
			W	
			NW	

Anexo 37. Formato de registro de medición del caudal

MEDICIÓN DE CAUDAL

Fecha de muestreo: ____/____/____ salida No. ____ Página No.: ____

Lugar: Humedal Hacienda "El Manzanar", Municipio de Popayán, Depto. Del Cauca

Responsable: Martha Lucia Burbano Garcés

Equipo: _____ Tamaño de élice: ____ Tiempo de medición: ____

Sitio: _____

Ancho total del cauce	No. Segmentos	Distancia de segmentos horizontales	Profundidad	Ubicación de la élice (0,20)	Velocidad
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				

Sitio: _____