

**ALGAS DEL PERIFITON, PRODUCTIVIDAD Y MATERIA ORGÁNICA DE UN  
RÍO DE ALTA MONTAÑA TROPICAL**

**ADRIANA LUCIA RAMIREZ NIVIA.**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
CARRERA DE BIOLOGÍA  
Bogotá D.C.  
Junio 2001**

**ALGAS DEL PERIFITON, PRODUCTIVIDAD Y MATERIA ORGÁNICA DE UN  
RÍO DE ALTA MONTAÑA TROPICAL**

**ADRIANA LUCIA RAMÍREZ NIVIA.**

**TRABAJO DE GRADO**  
**Presentado como requisito parcial para optar el título de**  
**BIÓLOGA**

**DIRECTOR**  
**JHON CHARLES DONATO RONDÓN**  
**Profesor Asociado**  
**Departamento de Biología**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**  
**CARRERA DE BIOLOGÍA**  
**Bogotá D.C.**  
**Junio 2001**

**ALGAS DEL PERIFITON, PRODUCTIVIDAD Y MATERIA ORGÁNICA DE UN  
RÍO DE ALTA MONTAÑA TROPICAL**

**ADRIANA LUCIA RAMIREZ NIVIA.**

**APROBADO:**

-----  
**Dr CARLOS CORREDOR P., Ph.D.**  
**Decano Académico**  
**Facultad de Ciencias**

-----  
**Dra LUZ MERCEDES SANTAMARÍA**  
**Directora de la Carrera de Biología**  
**Facultad de Ciencias**

-----  
**Dr. JHON CHARLES DONATO**  
**Profesor Asociado**  
**Facultad de Ciencias**  
**Director de Trabajo de Grado**

## **NOTA DE ADVERTENCIA**

**Artículo 23 de la Resolución N° 13 de julio de 1946: "La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus tesis de grado".**

**Dedico este trabajo de grado especialmente a la memoria de mi padre, que me acompaña en todo momento; a mi madre y hermanos a quienes les debo todo lo que soy.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades que colaboraron para el desarrollo y culminación de este trabajo de grado:

En primer lugar a mi mamá, Flor, por brindarme todo su amor, apoyo, ayuda y comprensión a lo largo de toda mi vida, pero especialmente para la realización y culminación de mi trabajo de grado.

A mis hermanos Alfredo, Mauricio y Carlos por estar incondicionalmente conmigo y ayudarme con el computador y la estadística de este trabajo.

Al Doctor Jhon Charles Donato, por su valiosa ayuda, orientación científica, enseñanzas, pero sobretodo por dirigir mi trabajo de grado.

A María Isabel Castro, por su guía continua, interés, apoyo y colaboración a lo largo de este y otros trabajos.

A la familia Castro, por su amistad y permitirme realizar el trabajo de campo, además por ayudarme y apoyarme en el momento que más los necesite.

Al personal de la Hostería Balneario El Batán, por su excelente servicio, atención y colaboración.

Al Laboratorio de Limnología de la Pontificia Universidad Javeriana por permitirme trabajar en su laboratorio, especialmente a Carlos Rivera, por su constante colaboración y apoyo estadístico para la finalización de este trabajo. A los demás compañeros y auxiliares del laboratorio por su colaboración.

A Jaime Bernal, director del Departamento de Química, por su colaboración y préstamo de su laboratorio para realizar los pesos libres de ceniza, además por sus enseñanzas en segundo semestre.

A Luz Mercedes Santamaría, directora de la Carrera de Biología, por su apoyo y colaboración durante toda mi carrera.

A los auxiliares del laboratorio de Biología por su colaboración y préstamo de materiales y laboratorios.

A mi mejor amiga, Anita, persona a quien conocí en momentos difíciles, por entenderme, apoyarme y lo más importante por brindarme su amistad incondicional.

A todos mis amigos y demás personas que siempre me apoyaron y lo siguen haciendo.

Finalmente, le quiero agradecer infinitamente a mi Dios, por ser mi guía y darme valor para continuar y no desfallecer en las dificultades.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	24
1.REVISIÓN DE LITERATURA.....	28
1.1.ALGAS DEL PERIFITON.....	30
1.1.1. FACTORES QUE CONTROLAN EL DESARROLLO DE LAS ALGAS PERIFÍTICAS.....	31
1.1.2.LUZ Y TEMPERATURA.....	32
1.1.3.NUTRIENTES.....	33
1.1.4.PH.....	34
1.1.5.CONDUCTIVIDAD.....	35
1.1.6.OXÍGENO DISUELTO.....	35
1.1.7.VELOCIDAD DE CORRIENTE.....	36
1.2.PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA.....	37
1.2.1.TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD.....	38
1.3.APORTES DE MATERIA ORGÁNICA PROCEDENTE DE LA VEGETACIÓN RIPARIA.....	40

<b>2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>3.OBJETIVOS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.OBJETIVOS GENERALES.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>47</b>
<b>4.MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.TIPO DE ESTUDIO.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2.HIPÓTESIS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3.DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3.1.LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3.2.TEMPERATURA Y PRECIPITACION.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.3.BALANCE HÍDRICO.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.4.CLIMA Y VEGETACIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.5.VIENTOS.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.6.GEOLOGÍA.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.7.GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.8.SUELOS.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.FASE DE CAMPO.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4.1.VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS.....</b>	<b>59</b>

<b>4.4.2.VARIABLES HIDROLÓGICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.4.3.VARIABLES BIOLÓGICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.4.4.MATERIA ORGÁNICA.....</b>	<b>62</b>
<b>4.5.FASE DE LABORATORIO.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5.1.ANÁLISIS CUALITATIVO.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5.2.ANÁLISIS CUANTITATIVO.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5.3.PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD.....</b>	<b>65</b>
<b>4.5.4.MATERIA ORGÁNICA ALÓCTONA.....</b>	<b>67</b>
<b>4.6.FASE DE ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>68</b>
<b>4.6.1.DIVERSIDAD Y RIQUEZA.....</b>	<b>68</b>
<b>4.6.2.ANÁLISIS DE VARIANZA.....</b>	<b>69</b>
<b>4.6.3.CORRELACIONES LINEALES.....</b>	<b>70</b>
<b>4.6.4.ANÁLISIS DE ORDENACIÓN.....</b>	<b>71</b>
<b>5.RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1.DINÁMICA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS E HIDROLÓGICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1.1.CLIMA Y PRECIPITACIÓN.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1.2.HIDROLOGÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>5.1.2.1. VELOCIDAD DE LA CORRIENTE DEL AGUA.....</b>	<b>74</b>
<b>5.1.2.2. FLUJO O CAUDAL.....</b>	<b>75</b>

5.1.2.3. PROFUNDIDAD.....	76
5.1.2.4. AMPLITUD DEL CAUCE.....	77
5.2.VARIABLES FÍSICAS Y SU DINÁMICA DIARIA EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....	79
5.2.1. CONDUCTIVIDAD.....	79
5.2.2.TEMPERATURA DEL AGUA.....	80
5.2.3.LUZ.....	82
5.2.4.RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....	83
5.3.COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES QUÍMICAS EN EL RÍO TOTA..	84
5.2.2.OXÍGENO DISUELTO.....	85
5.3.2.PH.....	86
5.3.3.ALCALINIDAD.....	87
5.3.4.CATIONES MINORITARIOS.....	89
5.3.4.1.AMONIO .....	89
5.3.4.2.FOSFATOS.....	90
5.3.4.3.NITRITO.....	91
5.3.4.4.CARBONATO.....	93
5.3.4.5.SÍLICE.....	95
5.4.ASPECTOS GENERALES DE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS.....	97
5.4.1.COMPOSICIÓN DE ALGAS PERIFÍTICAS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....	97

<b>5.4.2.ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE ALGAS DEL PERIFÍTON.....</b>	<b>98</b>
<b>5.4.3.DINÁMICA DIARIA Y MENSUAL DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON.....</b>	<b>99</b>
<b>5.4.3.1.RIQUEZA DE ESPECIES DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON.....</b>	<b>100</b>
<b>5.4.3.2.CAMBIOS MENSUALES DE LA DIVERSIDAD DE ESPECIES DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON.....</b>	<b>101</b>
<b>5.5.DINÁMICA DIARIA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFÍTON DEL RIO TOTA.....</b>	<b>102</b>
<b>5.5.1.DENSIDAD DE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS DEL RIO TOTA.....</b>	<b>103</b>
<b>5.6.MATERIA ORGÁNICA.....</b>	<b>104</b>
<b>5.6.1.APORTES DE MATERIA ORGANICA GRUESA DE ALNUS ACUMINATA, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>105</b>
<b>5.6.1.1.HOJAS DE ALNUS ACUMINATA.....</b>	<b>105</b>
<b>5.6.1.2.RAMAS DE ALNUS ACUMINATA.....</b>	<b>106</b>
<b>5.6.1.3.INFLORESCENCIAS DE ALNUS ACUMINATA.....</b>	<b>107</b>
<b>5.6.2.APORTES DE MATERIA ORGANICA GRUESA DE SALIX HUMBOLDTIANA, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>109</b>
<b>5.6.2.1.HOJAS DE SALIX HUMBOLDTIANA.....</b>	<b>109</b>
<b>5.6.2.2.RAMAS DE SALIX HUMBOLDTIANA.....</b>	<b>110</b>
<b>5.6.2.3.INFLORESCENCIAS DE SALIX HUMBOLDTIANA.....</b>	<b>111</b>
<b>5.6.3.RELACIONES ENTRE LA PRODUCCIÓN AUTÓCTONA Y ALÓCTONA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>112</b>

<b>5.7.ORDENACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS QUÍMICAS HIDROLÓGICAS Y BIOLÓGICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>5.7.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES, PRODUCTIVIDAD Y DENSIDAD ALGAL.....</b>	<b>113</b>
<b>5.7.2ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA DE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS.....</b>	<b>116</b>
<b>5.7.3 RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES Y LA COMUNIDAD (ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA).....</b>	<b>119</b>
<b>6.DISCUSIÓN.....</b>	<b>125</b>
<b>6.1.DINÁMICA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS E HIDROLÓGICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>125</b>
<b>6.1.1.CLIMA.....</b>	<b>125</b>
<b>6.1.2.HIDROLOGÍA.....</b>	<b>125</b>
<b>6.2.VARIACIONES TEMPORALES EN LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>128</b>
<b>6.2.1.FÍSICAS.....</b>	<b>128</b>
<b>6.2.2.QUÍMICAS.....</b>	<b>129</b>
<b>6.2.2.1.CACIONES MINORITARIOS.....</b>	<b>129</b>
<b>6.2.2.2.PH Y ALCALINIDAD.....</b>	<b>131</b>
<b>6.2.2.3.OXÍGENO DISUELTO.....</b>	<b>132</b>
<b>6.3.ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SECTOR MEDIO BAJO DEL RIO TOTA.....</b>	<b>133</b>
<b>6.3.1.COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS ALGAS PERIFITICAS DEL RIO TOTA.....</b>	<b>133</b>

<b>6.3.2.DINÁMICA DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON DEL RIO TOTA.....</b>	<b>136</b>
<b>6.3.2.1.DIVERSIDAD DE ALGAS PERIFITICAS.....</b>	<b>136</b>
<b>6.3.2.2.RIQUEZA DE ESPECIES PERIFÍTICAS.....</b>	<b>137</b>
<b>6.3.3.CAMBIOS DIARIOS Y ESTACIONALES DE LA PRODUCTIVIDAD PERIFÍTICA Y DE LA DENSIDAD CELULAR DEL SECTOR MEDIO BAJO DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>138</b>
<b>6.3.4.APORTES DE MATERIA ORGANICA GRUESA A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>143</b>
<b>7.CONCLUSIONES.....</b>	<b>150</b>
<b>8.RECOMENDACIONES.....</b>	<b>152</b>
<b>9.BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>154</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. ESCALA 1:25.000 TOMADO DE IGAC 1995.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 2. VALORES TOTALES DE PRECIPITACIÓN EN MM PARA LA ZONA DE ESTUDIO DURANTE EL AÑO 2000.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 3. CARTA ECOLÓGICA PARA LA ZONA DE ESTUDIO. ESCALA 1: 500.000. TOMADO DE IGAC, 1980.....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 4.SUSTRATO ARTIFICIAL PARA LA COLONIZACIÓN DE ALGAS PERIFÍTICAS COLOCADO EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 5.COLECTORES DE FIBRA DE PORO PARA MATERIA ORGANICA PROCEDENTE DE LA VEGETACIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 6. VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 7. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE VELOCIDAD DE LA CORRIENTE DEL AGUA ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 8. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE FLUJO O CAUDAL, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 9. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE PROFUNDIDAD MEDIA, ENCONTRADOS EN EL RÍO TOTA.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 10. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE AMPLITUD DEL CAUCE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 11. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE CONDUCTIVIDAD REGISTRADOS EN EL RÍO TOTA.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 12. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE TEMPERATURA DEL AGUA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>81</b>

<b>FIGURA 13. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE LUZ, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 14. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 15. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE OXÍGENO DISUELTO ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 16. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE PH ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 17. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE ALCALINIDAD, ENCONTRADOS EN EL RÍO TOTA.....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 18. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE AMONIO, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 19. VALORES DIARIOS DE FOSFATOS ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURA 20. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE NITRITO, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURA 21. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE CARBONATO, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURA 22. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y MEDIOS DE SÍLICE, ENCONTRADOS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 23. PORCENTAJE DE ABUNDANCIA DE LAS ALGAS PERIFÍTICAS ENCONTRADAS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 24. VALORES DE ABUNDANCIA DE LAS ALGAS PERIFÍTICAS ENCONTRADAS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>99</b>
<b>FIGURA 25. VALORES DEL ÍNDICE DE RIQUEZA DE ESPECIES DE ALGAS PERIFÍTICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>100</b>

<b>FIGURA 26. VALORES DE DIVERSIDAD DE ESPECIES DE ALGAS PERIFÍTICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA, PARA EL PERÍODO DE ESTUDIO.....</b>	<b>101</b>
<b>FIGURA 27. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS Y PROMEDIOS DE PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA DEL RÍO TOTA, PARA LOS MESES DE MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO Y SEPTIEMBRE.....</b>	<b>102</b>
<b>FIGURA 28. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, Y MEDIOS DE APORTES DE MATERIA ORGÁNICA GRUESA COMO HOJAS DE ALNUS ACUMINATA, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>105</b>
<b>FIGURA 29. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, Y MEDIOS DE APORTES DE MATERIA ORGÁNICA GRUESA EN RAMAS DE ALNUS ACUMINATA A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURA 30. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, Y MEDIOS DE APORTES DE MATERIA ORGÁNICA GRUESA INFLORESCENCIAS DE ALNUS ACUMINATA, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 31. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, Y MEDIOS DE APORTES DE MATERIA ORGÁNICA GRUESA, COMO HOJAS DE SALIX HUMBOLDTIANA, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 32. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, Y MEDIOS DE APORTES DE MATERIA ORGÁNICA GRUESA, RAMAS DE SALIX HUMBOLDTIANA, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 33. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, Y MEDIOS DE APORTES DE MATERIA ORGÁNICA GRUESA REPRESENTADA EN INFLORESCENCIAS DE SALIX HUMBOLDTIANA, AL RÍO TOTA.....</b>	<b>111</b>
<b>FIGURA 34. VALORES PROMEDIOS DE PRODUCCIÓN AUTÓCTONA Y ALÓCTONA DEL RÍO TOTA.....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 35. REPRESENTACIÓN DE LOS DOS PRIMEROS EJES DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E HIDROLÓGICOS PRODUCTIVIDAD Y DENSIDAD.....</b>	<b>114</b>

**FIGURA 36. CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS E HIDROLÓGICAS CON LOS COMPONENTES PRINCIPALES, M1= PRIMER MUESTREO (MARZO), M2= SEGUNDO MUESTREO (ABRIL), M3= TERCER MUESTREO (MAYO), M4= CUARTO MUESTREO (JUNIO), M5= QUINTO MUESTREO (JULIO), M6= SEXTO MUESTREO (AGOSTO), M7= SÉPTIMO MUESTREO (SEPTIEMBRE), LOS OTROS NÚMEROS CORRESPONDEN A LOS DÍAS DE CADA MUESTREO..... 116**

**FIGURA 37. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA DE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS.....117**

**FIGURA 38. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA, M1= PRIMER MUESTREO (MARZO), M2= SEGUNDO MUESTREO (ABRIL), M3= TERCER MUESTREO (MAYO), M4= CUARTO MUESTREO (JUNIO), M5= QUINTO MUESTREO (JULIO), M6= SEXTO MUESTREO (AGOSTO), M7= SÉPTIMO MUESTREO (SEPTIEMBRE), LOS OTROS NÚMEROS CORRESPONDEN A LOS DÍAS DE CADA MUESTREO.....119**

**FIGURA 39. ACC DE LAS MUESTRAS DE ACUERDO CON LAS VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS E HIDROLÓGICAS DEL RÍO TOTA..... 120**

**FIGURA 40. ACC DE LAS ESPECIES DE ALGAS PERIFÍTICAS DE ACUERDO A LAS VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS E HIDROLÓGICAS DEL RÍO TOTA. ....122**

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ALCALINIDAD, NITRITO, NITRATO, FOSFATO, Y SÍLICE EMPLEADOS EN EL LABORATORIO.....</b>	<b>59</b>
<b>TABLA 2 VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE LA VELOCIDAD DE CORRIENTE OBTENIDAS ENTRE LOS MESES DE MUESTREO.....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 3.VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R), OBTENIDOS DURANTE LOS MESES DE MUESTREO PARA EL CAUDAL.....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA 4. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R), OBTENIDAS PARA LA PROFUNDIDAD.....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 5. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R), OBTENIDOS PARA LA AMPLITUD DEL CAUCE Y REGISTRADOS ENTRE LOS MESES DE MUESTREO.....</b>	<b>78</b>

<b>TABLA 6. RESUMEN DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS (LLUVIAS) MEDIDAS EN TODOS LOS PERÍODOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>79</b>
<b>TABLA 7. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE CONDUCTIVIDAD OBTENIDAS ENTRE LOS PERÍODOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 8. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE LA TEMPERATURA OBTENIDAS DURANTE LOS MESES DE ESTUDIO.....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 9. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE LUZ REGISTRADAS ENTRE LOS MESES DE MUESTREO.....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 10. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES FÍSICAS MEDIDAS EN TODOS LOS PERÍODOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>84</b>
<b>TABLA 11. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DEL OXÍGENO DISUELTO REGISTRADAS ENTRE LOS MESES DE MUESTREO.....</b>	<b>86</b>
<b>TABLA 12. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE PH REGISTRADAS EN EL RÍO TOTA.....</b>	<b>87</b>
<b>TABLA 13. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE ALCALINIDAD ENCONTRADAS ENTRE LOS MESES DE MUESTREO.....</b>	<b>88</b>
<b>TABLA 14. VALORES MEDIOS, MÁXIMOS, MÍNIMOS, MEDIANA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS VARIABLES QUÍMICAS REGISTRADAS EN TODOS LOS PERÍODOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>88</b>
<b>TABLA 15. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE AMONIO OBTENIDAS ENTRE EL PERÍODO DE ESTUDIO.....</b>	<b>90</b>
<b>TABLA 16. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE NITRITO PRESENTADAS ENTRE LOS MESES DE ESTUDIO.....</b>	<b>92</b>
<b>TABLA 17. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE CARBONATO REGISTRADAS ENTRE EL PERÍODO DE MUESTREO.....</b>	<b>94</b>
<b>TABLA 18. VALORES DE CORRELACIÓN DE PEARSON, DE SÍLICE OBTENIDAS ENTRE LOS MESES DE MUESTREO.....</b>	<b>96</b>

<b>TABLA 19. RESUMEN DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS CACIONES MINORITARIOS REGISTRADAS EN TODOS LOS PERÍODOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>96</b>
Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson, máximos, mínimos y medios de los aportes de materia orgánica gruesa <i>Salix humboldtiana</i> encontradas en los meses de estudio.....	88
Tabla 24. Valores de varianza para los primeros ejes.....	90
Tabla 25. Correlación de Pearson de las variables ambientales, físicas, químicas, hidrológicas, productividad y densidad algal con los ejes de ordenación del Análisis de Componentes Principales.....	91
Tabla 26. Correlaciones entre las variables ambientales, físicas, químicas e hidrológicas con los dos ejes principales de ordenación del Análisis de Correspondencia Canónico.....	97

## RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo en el sector medio bajo del río Tota (Cuítiva, Boyacá), donde se realizaron siete muestreos, cada uno con una duración de quince días, donde se midieron las variables físicas, químicas, hidrológicas y se tomaron las variables biológicas a partir de la utilización de un sustrato artificial, con el fin de controlar el área de colonización y el tiempo, y de esta manera estimar la diversidad, riqueza, productividad y densidad de la comunidad de algas del perifiton. No obstante, se identificó que los eventos hidrológicos resultaron ser los factores más influyentes sobre las variables físicas, químicas, y especialmente sobre las variables biológicas ya que ejercen un mayor efecto sobre la colonización de algas y de esta manera altera la productividad y densidad celular, presentando entonces que la variación estacional es más importante que la variación diaria. Las Bacillariophyceae, resultó ser el grupo más abundante y dominante durante todo el período de estudio, mientras que las Euglenophyceae, Cyanophyceae y Chlorophyceae ocupan un menor porcentaje. La diversidad es mayor en la época de aguas bajas, mientras que la abundancia es máxima en el período de aguas altas.

Es importante resaltar que los aportes de materia orgánica de la vegetación riparia al río Tota, son importantes, y a la vez esta información es de gran importancia debido a que cumplen un papel fundamental en el metabolismo del río, sin embargo están regulados por las condiciones ambientales, especialmente por las lluvias locales y los procesos fisiológicos.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los ambientes de agua dulce se encuentran los ríos, los cuales se conciben como un elemento central del ecosistema, cuyo factor principal es el transporte horizontal que incide en la distribución de nutrientes y gases, en la luz, la temperatura, la velocidad de la corriente (Allan, 1995), y a su vez, influye en el establecimiento de las comunidades bióticas (Vannote, *et al.*, 1980).

Existen comunidades adaptadas a las condiciones anteriormente expuestas, una de ellas y objeto de este estudio son las algas del perifiton, las cuales se desarrollan sobre superficies libres u objetos sumergidos en el agua, y presentan modificaciones específicas para permanecer adheridas al sustrato con el propósito de no ser arrastradas por la corriente y el flujo. Esta comunidad juega un papel importante en la dinámica, economía y ecología de los ríos, ya que es la encargada principal de la productividad primaria del ecosistema (Margalef, 1983).

Sin embargo, factores como la velocidad de la corriente, el flujo, los nutrientes, el oxígeno, la temperatura, la conductividad, entre otros, inciden en la colonización y desarrollo de las algas perifíticas, y el cambio en un factor de los anteriormente mencionados puede alterar la composición, establecimiento y desarrollo de dicha comunidad.

Otro punto importante de la ecología de los ríos y que se aborda en este trabajo, son los aportes de la materia orgánica alóctona los cuales están determinados por el crecimiento, los efectos hidrológicos, la geología local, la vegetación y la precipitación. En los ríos se encuentra una gran cantidad de carbono orgánico disuelto o detrítico particulado, provenientes de las hojas de los árboles y de la vegetación terrestre riparia. Estas constituyen una fuente de energía y nutrientes para el metabolismo del río, y contribuye con el sostenimiento del componente biológico, el cual es en parte determinado por el tipo y la calidad del material alóctono que es arrastrado por la corriente (Allan, 1995).

En Colombia, las investigaciones y los estudios realizados sobre los ríos andinos son escasos y muy especialmente en temas relacionados con la productividad perifítica y a los aportes de materia orgánica proveniente de la vegetación riparia. Los estudios elaborados tienen principalmente un enfoque taxonómico de las especies acuáticas o miden la respuesta de estas a la calidad del agua.

El objetivo de este trabajo es el de aportar información sobre la estructura y dinámica de los ríos de alta montaña tropical, cuantificando los efectos de variables hidrológicas, físicas y químicas sobre la abundancia y la productividad de la comunidad perifítica.

Adicionalmente, se pretende establecer los cambios en la cantidad de materia orgánica aportada por la vegetación riparia y su relación con los períodos de lluvia y sequía, y calcular los aportes de materia particulada gruesa a lo largo de la cuenca de drenaje del río.

Esta investigación forma parte del proyecto “Efectos de los Disturbios Naturales sobre la Colonización de Diatomeas en un Río de Montaña de los Andes Colombianos”, financiado parcialmente por la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana.

## 1. REVISIÓN DE LITERATURA

Los sistemas lóticos, se conciben como un elemento central del ecosistema debido a su importancia para el desarrollo y mantenimiento de la vida terrestre, y a su vez, son ecosistemas bajo tensión que están sobrealimentados y que exportan parte de sus materiales a los esteros costeros y al mar, sin embargo, el factor más importante del río es el transporte horizontal, el cual depende de la disponibilidad de energía para la distribución de nutrientes y gases (Margalef, 1983).

Los ríos tropicales se encuentran entre los 23.5° de latitud norte y sur, presentando características en común como es el bajo contenido de sales, más sodio que calcio, altos contenidos de hierro y sílice, y pH dentro del rango de 7.5-4.3; pero factores como los períodos de lluvia, tipos de suelo, rocas y vegetación, son en realidad los que determinan las características propias de los ríos, aunque en muchos casos varían y causan diferencias significativas (Payne, 1986).

El ambiente físico de los ríos, se caracteriza por una serie de mecanismos que plantean desafíos ecológicos a las comunidades biológicas que lo habitan. Tal es el caso de la velocidad y la corriente del agua, que brinda beneficios al transportar recursos de utilidad a los organismos o llevan en su deriva a aquellos de locomoción limitada, y por otra parte, selecciona a organismos que con sus adaptaciones morfológicas contrarrestan situaciones extremas (Allan, 1995).

Otras variables físicas como el flujo, turbidez, incidencia lumínica, conductividad y pH, y variables químicas como oxígeno, dióxido de carbono y nutrientes, permiten también el desarrollo de diversos tipos de organismos.

Para entender la ecología de los sistemas lóticos y especialmente la de los ríos, se debe tener en cuenta que poseen características únicas y una dinámica natural determinada por la heterogeneidad espacio-temporal y el flujo unidireccional.

Por lo tanto, se introducen los conceptos del río como un continuo y las Series Discontinuas; los cuales se desarrollan a partir de la hipótesis que el río presenta un gradiente continuo de condiciones físicas y químicas, el cual provoca una serie de respuestas dentro del componente poblacional que trae como consecuencia el establecimiento de comunidades bióticas específicas adaptadas a cada hábitat particular, y de esta manera, explican la distribución de los organismos de acuerdo al patrón de carga, transporte, velocidad, profundidad, temperatura, utilización y almacenamiento de materia orgánica (Vannote, *et al.*, 1980).

El concepto de Series Discontinuas, creado por Ward & Stanford (1983), al tener en cuenta los conceptos del río como un continuo y los ríos regulados, parte de la premisa de que sí los cambios en las características estructurales y funcionales de

un ecosistema acuático ocurren bajo el supuesto del río como un continuo, entonces cualquier regulación en alguna característica puede ocasionar cambios en la estructura y función del ecosistema.

Otras teorías planteadas para modelos de ríos, como el espiral de nutrientes (Newbold *et al*, 1982), y el estrés hidráulico (Statzner & Higler, 1986), se basan en la teoría del río como un continuo, sin embargo, la primera tiene que ver con el flujo unidireccional mediante el reciclaje (espiral) de nutrientes, refiriéndose a la eficiencia de la utilización de estos a lo largo del río.

## **1.1. ALGAS DEL PERIFITON**

Las algas de los ríos y lagos, constituyen un conjunto diverso de organismos pertenecientes a la mayoría de los principales grupos taxonómicos, debido a que poseen una gran variedad de aspectos morfológicos, reproductivos, bioquímicos, fisiológicos y ecológicos (Stevenson, 1996).

Dentro del perifiton, se encuentran las algas perifíticas, definidas como el conjunto de organismos, en este caso algas, que se desarrollan sobre superficies libres u objetos sumergidos en el agua, las cuales conforman grupos de acuerdo al sustrato que colonizan. Las algas que crecen sobre los sedimentos se les denomina epipélicas, sobre las rocas epilíticas, sobre otras plantas, epífitas, sobre

la superficie y cuerpo de los animales epizóicas, y sobre los granos de arena episámicas (Wetzel, 1981).

Las algas perifíticas, juegan un papel importante dentro del sistema acuático, ya que son las encargadas de la productividad primaria debido a la gran capacidad que tienen para transformar la energía lumínica.

### **1.1.1. FACTORES QUE CONTROLAN EL DESARROLLO DE LAS ALGAS PERIFÍTICAS**

Las algas perifíticas, son los productores primarios más exitosos que exploran los ríos y sus hábitats (Biggs, 1996). Sin embargo, presentan una alta heterogeneidad espacial y temporal como respuesta a la variabilidad en los parámetros físicos y químicos del medio (Wetzel, 1981).

La composición y distribución de las especies del perifiton, a lo largo del río están determinadas por factores fisiológicos como la luz y la temperatura; factores abióticos, como la velocidad de la corriente, tipo de sustrato, composición química del agua, topografía, vegetación, geología, clima y factores bióticos como la depredación, competencia y parasitismo (Hynes, 1976; Allan, 1995).

### **1.1.2. LUZ Y TEMPERATURA**

Los efectos ecológicos de la luz y la temperatura sobre la fotosíntesis, el crecimiento de las algas y la productividad primaria son inseparables, debido a las interrelaciones entre el metabolismo y la saturación de luz (Wetzel, 1981).

La temperatura, actúa como elemento que retarda o acelera la actividad biológica, la absorción de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera por el agua e influye en el desarrollo y proliferación de las algas (DeNicola, 1996). Las velocidades de los procesos orgánicos dependen muchas veces de la temperatura, ya que cualquier aumento, puede acelerar la respiración, por lo que es de esperar que el cociente producción neta/producción bruta disminuya al aumentar la temperatura (Margalef, 1983).

Por otro lado, el crecimiento y la composición de las algas y las tasas de fotosíntesis están directamente relacionadas con el grado de intensidad de la luz, no obstante, la respuesta a la intensidad de la luz es variable según las especies, y en muchas de ellas se da un espectro de adaptación a los cambios de intensidad de luz (Wetzel, 1981).

La mayoría de las especies de algas están adaptadas a vivir con una óptima intensidad de luz, como es el caso de las clorofíceas, donde los cloroplastos que poseen son capaces de utilizar mejor la longitud de onda corta (Keithan, 1988). Una baja intensidad de luz, puede llegar a ser un factor limitante, para el desarrollo de las algas como para la producción primaria, ya que puede afectar la cantidad

de biomasa perifítica que crece sobre sustratos artificiales (Hill, 1988). Los efectos de la sombra producida por la vegetación terrestre, son más evidentes en los ríos pequeños, donde el dosel de los árboles adyacentes están por encima de la cuenca del río y por lo tanto interceptan el 95% de la radiación que incide, creando de esta manera una heterogeneidad considerable (Hill, 1986).

### **1.1.3.NUTRIENTES**

Los nutrientes en los ríos, pueden variar temporal y espacialmente, por lo tanto, alteran la composición de algas de dicho ecosistema, y a su vez, son las principales variables que controlan la productividad primaria acuática (Hill, 1988). Los fosfatos, nitratos y el sílice, son considerados como los nutrientes críticos para la producción autotrófica, aunque otros constituyentes químicos también pueden limitar el crecimiento bajo algunas circunstancias (Allan, 1995).

#### **1.1.3.1.FÓSFORO Y NITRÓGENO**

El fósforo y el nitrógeno, son los nutrientes limitantes en los procesos biológicos y especialmente en la productividad primaria de los sistemas acuáticos (Margalef, 1983). En cuanto a su origen, el fósforo proviene de la disolución de las rocas fosfatadas y de la mineralización de la materia orgánica. Por otro lado, el nitrógeno

tiene su depósito principal en la atmósfera, pero tiene una fuente importante al medio como es la descomposición de materia orgánica (Wetzel, 1981).

El perifiton, juega un papel importante en relación con los nutrientes, ya que esta comunidad es un modulador químico en los ecosistemas acuáticos debido a que transforma la mayoría de las formas inorgánicas en forma orgánica, tal como ocurre con la conversión del nitrógeno atmosférico en amoníaco y aminoácidos por las algas azul-verdosas, las cuales contribuyen con la productividad primaria en hábitats con poco nitrógeno (Stevenson, 1996).

#### **1.1.4. pH**

El pH, es uno de los factores que más influye en el desarrollo del perifiton, ya que este posee un límite óptimo de crecimiento, y muy pocas especies crecen bajo pH inferiores a 2 o superiores a 10, mientras que a pH básicos o neutros, se registra un desarrollo óptimo de las comunidades perifíticas, y se facilita la solubilidad de nutrientes necesarios para su crecimiento (Wetzel, 1981)

#### **1.1.5. CONDUCTIVIDAD**

La conductividad de una masa de agua es uno de los parámetros más importantes en limnología, ya que a través de ella se puede conocer el metabolismo del ecosistema acuático, y a su vez, proporciona información de la productividad primaria y de la descomposición de la materia orgánica (Wetzel, 1981).

### **1.1.6. OXÍGENO DISUELTO**

El oxígeno disuelto, es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan respiración de tipo aerobio, sin embargo, el oxígeno llega al agua por difusión de la atmósfera o por procesos fotosintéticos, pero la difusión de este gas en un ecosistema acuático se efectúa por medio de la circulación y los movimientos del agua (Wetzel, 1981; Margalef, 1983).

### **1.1.7. VELOCIDAD DE CORRIENTE**

La velocidad de corriente, es una variable hidrológica que incide en el establecimiento de la comunidad perifítica debido al movimiento permanente de agua, el cual afecta el transporte de nutrientes y su disponibilidad (Stevenson, 1996), al tiempo que puede influir en las formas de crecimiento y adaptaciones morfológicas al sustrato (Margalef, 1983).

Sin embargo, dentro del río se pueden presentar diferentes velocidades causadas principalmente por la inclinación de la superficie, los accidentes del cauce, la profundidad y el ancho del río.

Las diferencias en la velocidad del río, determinan la presencia de los organismos perifíticos, sin embargo, se evidencian ciertas zonas dentro del río, donde la velocidad de corriente es alta, y los organismos que se desarrollan, básicamente algas, poseen tallos o pedúnculos que les permiten adherirse a las rocas

(Margalef, 1983). Mientras que en otras zonas la velocidad de corriente es reducida, el perifiton tiene un buen desarrollo debido a la estabilidad proporcionada y por lo tanto, se encontrará un mayor número de especies (Margalef, 1983).

## **1.2. PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA**

La terminología básica y las definiciones de los conceptos de productividad han sido tratados por muchos años, por consiguiente reciben una extraordinaria atención en el campo de la limnología, no obstante, en los ríos, estas medidas son escasas (Allan, 1995).

La productividad a gran escala puede definirse como la cantidad de biomasa que se forma en un período de tiempo determinado, y específicamente se refiere a la tasa de producción expresada como el peso de materia orgánica formada durante un determinado período de tiempo, más las pérdidas registradas durante este período, y dividida por el período de tiempo (Wetzel, 1981).

La productividad de los ríos, varía considerablemente a través de los biomas y regiones climáticas, por lo tanto, es de esperar que de acuerdo al tamaño del río, la productividad de la comunidad varíe consecuentemente con las predicciones del concepto del río como un continuo (Lamberti & Steinman, 1997), no obstante,

hay numerosas formas de medir la productividad en los sistemas lóticos como lo es la acumulación de biomasa en sustratos artificiales, el cambio de oxígeno o el cambio de dióxido de carbono y las técnicas del  $^{14}\text{C}$  (Bott, *et al.*, 1978).

### **1.2.1. TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD**

La biomasa perifítica, se define como la masa de materia orgánica algal por unidad de área del sustrato, mientras que la productividad primaria de la comunidad del perifiton está en función de la calidad del agua, sustrato y del patrón estacional en temperatura e iluminación solar, y es calculada a partir de los cambios temporales en la biomasa (APHA, 1998).

Las técnicas empleadas para estimar la productividad son el conteo de células, el volumen, el peso fresco, el peso seco, y el peso seco libre de cenizas, siendo estos dos últimos los métodos más exactos para determinar la tasa de acumulación de materia orgánica (Wetzel, 1981).

Las técnicas del peso seco y del peso seco libre de cenizas, utilizadas para la determinación de la biomasa han sido criticadas por Sladeckova, especialmente el empleo de sustratos artificiales, ya que estos poseen numerosas fuentes de error en cuanto a la selectividad de adherir organismos, tasas de movimiento variable y pérdidas mecánicas por manipulación.

Otro problema que se presenta con esta metodología es la heterogeneidad de distribución y la tasa de cambio poblacional, la cual puede variar por los diferentes disturbios y por los cambios en las condiciones ambientales que se presentan durante el período de exposición del sustrato artificial (Wetzel, 1965).

De otro lado, las medidas del peso seco, y del peso seco libre de cenizas son métodos relativamente económicos para estimar la biomasa perifítica, siendo esta una gran ventaja para esta metodología, pero tiene la desventaja de que su exactitud es más baja que el método de conteo de células (Stevenson, 1996).

El cálculo del peso seco y el peso seco libre de cenizas, como estimador de la biomasa perifítica puede ser sesgado, debido a la presencia de materia inorgánica y materia orgánica no perifítica tal como detritos, bacterias y hongos, siendo esta una desventaja, mientras que el peso seco puede llegar a ser un pobre indicador de biomasa perifítica cuando el sedimento y la deposición es grande en las muestras; y a su vez el peso seco libre de cenizas presenta dificultades cuando los detritos y los organismos heterótrofos son componentes significativos de la comunidad (Stevenson, 1996).

Aunque si bien existen otros métodos de medición óptimos, el método de acumulación de biomasa propuesto por APHA, AWWA y WEF (1998), empleado en este trabajo, corrige en lo posible las anteriores dificultades, debido a que esta metodología sí incluye las pérdidas y permite calcular tanto el material orgánico

como inorgánico a través de los sólidos suspendidos volátiles obtenidos de la diferencia entre el peso seco libre de ceniza y el peso seco; y los sólidos fijos suspendidos estimados a partir de la diferencia del peso seco libre de ceniza y del peso inicial.

### **1.3. APORTES DE MATERIA ORGÁNICA PROCEDENTE DE LA VEGETACIÓN RIPARIA**

En las aguas epicontinentales, una parte importante de la materia orgánica procede de los ecosistemas periféricos. El aporte de polen, hojas muertas, material húmico, suelos y la vegetación terrestre, cumple un papel importante en el metabolismo y las cadenas tróficas del río (Margalef, 1983).

Los orígenes y la composición de la materia orgánica son variados y escasamente comprendidos, debido en parte a que las entradas de materia orgánica provienen de diversas fuentes, la cual es transformada de un estado a otro, gracias a la respiración de la comunidad de consumidores o a la exportación de la materia (Allan, 1995).

La dinámica de la materia orgánica está fuertemente determinada de acuerdo con la estación de crecimiento, los efectos hidrológicos o la combinación de los dos, mientras que algunos procesos pueden operar en una escala de tiempo de minutos a horas, otros se determinan de acuerdo con la geología local, la vegetación y la precipitación (Allan, 1995).

Por otra parte, tanto en ríos como en lagos, gran cantidad de carbono orgánico disuelto o detrítico particulado, es de origen terrestre, como resultado de la producción fotosintética. constituyendo de esta forma la fuente principal de acarreo de materia y de energía para el metabolismo del río, debido a que son las principales entradas de energía para la mayor parte de la cadena alimenticia, y a su vez para la dinámica y el metabolismo de los ecosistemas acuáticos (Wetzel, 1981; Meyer & Rick, 1990).

La entrada de materia orgánica a los ríos se realiza en forma de materia orgánica disuelta, y puede efectuarse a partir de la lixiviación como en forma de compuestos solubles de origen vegetal transportados hacia las aguas de escorrentía en distintas etapas de descomposición fúngica y bacteriana (Wetzel, 1981); los ríos dependen de una proporción importante de los aportes de energía en forma de materia orgánica procedente de los ecosistemas terrestres adyacentes, como es el caso del bosque ripario (Vannote, *et al.*, 1980).

La materia orgánica particulada, principalmente de origen vegetal puede incorporarse a las aguas del río directamente a partir de la vegetación que se encuentra en las orillas, lo que hace que la comunidad de los organismos del río esté determinada por el tipo y la calidad de material alóctono que es arrastrado por la corriente (Allan, 1995).

La materia vegetal particulada gruesa de origen terrestre que es introducida en los ríos queda sometida al lavado y puede variar según las especies de plantas. Esta materia orgánica es metabolizada rápidamente por las poblaciones bacterianas, que aumentan marcadamente (Wetzel, 1981), y a su vez, es otra fuente de energía para la mayor parte de la cadena alimenticia, dado que una proporción de los consumidores primarios de los ríos se alimentan de detritus y dependen del material orgánico arrastrado al agua o que caen a ella a partir de la vegetación terrestre (Allan, 1995).

Generalmente, se supone que la fotosíntesis terrestre y el transporte de materia orgánica hacia los ecosistemas fluviales, constituye la principal fuente de energía y carbono de estos sistemas, es decir, que los ríos son básicamente heterotróficos. Este es realmente el caso de los ríos de montaña rodeados de abundante vegetación, en los que la producción primaria autóctona es muy escasa o despreciable (Wetzel, 1981), comparada con los aportes alóctonos de materia orgánica.

Sin embargo, dentro del concepto del río como un continuo, la influencia riparia tiende a disminuir corriente abajo, lo cual coincide con la estación de muestreo, que posee poca vegetación arbórea, pero este aporte de materia orgánica alcanza a influir en los parámetros químicos del agua del río, debido al proceso de descomposición al que está sometido modificando el pH y las concentraciones de algunos nutrientes (Margalef, 1983).

A medida que aumenta el tamaño del río y decrece el caudal, aumenta la contribución de la productividad primaria autóctona, mostrando un claro espectro de estadios metabólicos, que varía considerablemente a nivel local dentro de un mismo sistema fluvial y estacionalmente con las variaciones de ciertos parámetros físicos y químicos y con los cambios naturales o artificiales por polución en la entrada de materia orgánica alóctona (Wetzel, 1981)

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN**

### **2.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo afecta la velocidad de la corriente, la luz, la temperatura, el oxígeno, la conductividad, el pH y la cantidad de nitrógeno y fósforo, a la productividad de la comunidad periférica de sustratos artificiales localizados en la parte media del río Tota (Boyacá)?

¿Cómo cambia la cantidad de materia orgánica aportada por la vegetación riparia en relación a los períodos de lluvia y sequía en la parte media baja del río Tota (Boyacá)?

## **2.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El interés en la productividad de la comunidad de algas del perifiton y los aportes de materia orgánica a la cuenca de drenaje del río tota, se debe principalmente a la identificación de los factores que influyen en su variación y a la escasez de investigaciones y estudios sobre los ríos y especialmente sobre los de alta montaña, pese a que estos sistemas son indicadores de cambios globales de la biodiversidad y del clima, y a su vez sostienen una diversidad de especies alta en todos los niveles tróficos.

El perifiton, juega un papel fundamental en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, ya que la productividad de dicha comunidad, es la responsable de mantener la cadena trófica, y como primer eslabon trófico es la base de la producción pesquera en los ríos.

Por esta razón, es necesario realizar investigaciones sobre la estructura y dinámica de los ríos de alta montaña tropical, que contribuyan con información valiosa para futuros trabajos ecológicos que se realicen, en los cuales se relacione principalmente el componente biológico, en este caso algas del perifiton, con factores físicos, químicos y ambientales, con el fin de estudiar su dinámica, y los factores que influyen en esta comunidad, para de esta manera conocer el estado actual en que se encuentra el ecosistema acuático, en este caso particular el río

Tota, el cual presenta características físicas y químicas de un río de alta montaña tropical y puede convertirse en un modelo de estudio para otros ríos .

Si bien se han realizado algunos trabajos de investigación en la fisiología de la vegetación riparia del río Tota, conformada por *Alnus acuminata* y *Salix humboldtiana*, los aportes de materia orgánica a la cuenca de drenaje no han sido cuantificados dentro del ecosistema, pese a que son fuentes de energía para el sistema, y a su vez influyen en la química del agua debido a los procesos de descomposición.

Al estimar la productividad autóctona y alóctona del río Tota, se pretende contribuir a la ampliación de conocimientos en el área de la limnología especialmente en ecosistemas acuáticos de alta montaña tropical.

Con los resultados obtenidos en este estudio se espera aportar criterios e información sobre los factores que inciden en la productividad de la comunidad de algas del perifiton que se desarrolla sobre sustratos artificiales y sobre los aportes de materia orgánica procedente de la vegetación riparia.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVOS GENERALES**

- Identificar y cuantificar los factores físicos y químicos (temperatura, luz, pH, oxígeno, conductividad, alcalinidad, nitritos, nitratos, amonio, fosfatos), e hidrológicos ( velocidad de corriente, descarga) que inciden en la productividad de la comunidad perifítica que se desarrolla sobre sustratos artificiales del sector medio bajo del río Tota (Boyacá).
- Cuantificar el aporte de materia orgánica procedente de la vegetación riparia, del sector medio bajo del río Tota (Boyacá).

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Medir los factores físicos, químicos e hidrológicos y la influencia de estos sobre la productividad de la comunidad.
- Cuantificar espacial y temporalmente el aporte de materia orgánica procedente de la vegetación riparia del sector medio del río Tota.
- Estimar la productividad de la comunidad a través del método de acumulación de biomasa en el tramo medio del río Tota.

- Determinar taxonómica y cuantitativamente las algas del perifiton con el propósito de conocer la abundancia, riqueza y diversidad de especies.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **4.1. TIPO DE ESTUDIO**

El presente trabajo de investigación es un estudio analítico de tipo observacional.

### **4.2. HIPÓTESIS**

- Los cambios en la velocidad de la corriente, luz, temperatura, oxígeno, conductividad, pH y las concentraciones de nitrógeno y fósforo inciden en la productividad de la comunidad perifítica.
- Los aportes de materia orgánica procedentes de la vegetación riparia del sector medio del río Tota varían con los períodos de lluvia y sequía.

### **4.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **4.3.1. LOCALIZACIÓN**

El río Tota, nace en el páramo de las Alfombras, el área de la cuenca de drenaje es de aproximadamente de 340.625 hectáreas, y desemboca al río Chiquito (Figura 1). El lugar del muestreo se encuentra ubicado en la vereda La Vega, sector el Batán, municipio de Cuitiva (Boyacá), a una altitud aproximada de 3000 m, sobre la cordillera Oriental a 5°34'N, 72°57'W (Carreras, 1975). Este sitio corresponde a la zona de la cuenca media baja del río Tota. Para la selección de esta zona de muestreo se tuvo en cuenta su fácil acceso y a la vez porque en los muestreos realizados por Martínez (2000) a lo largo de la cuenca media baja del río Tota, encontró que no existían diferencias significativas en las variables físicas y químicas.

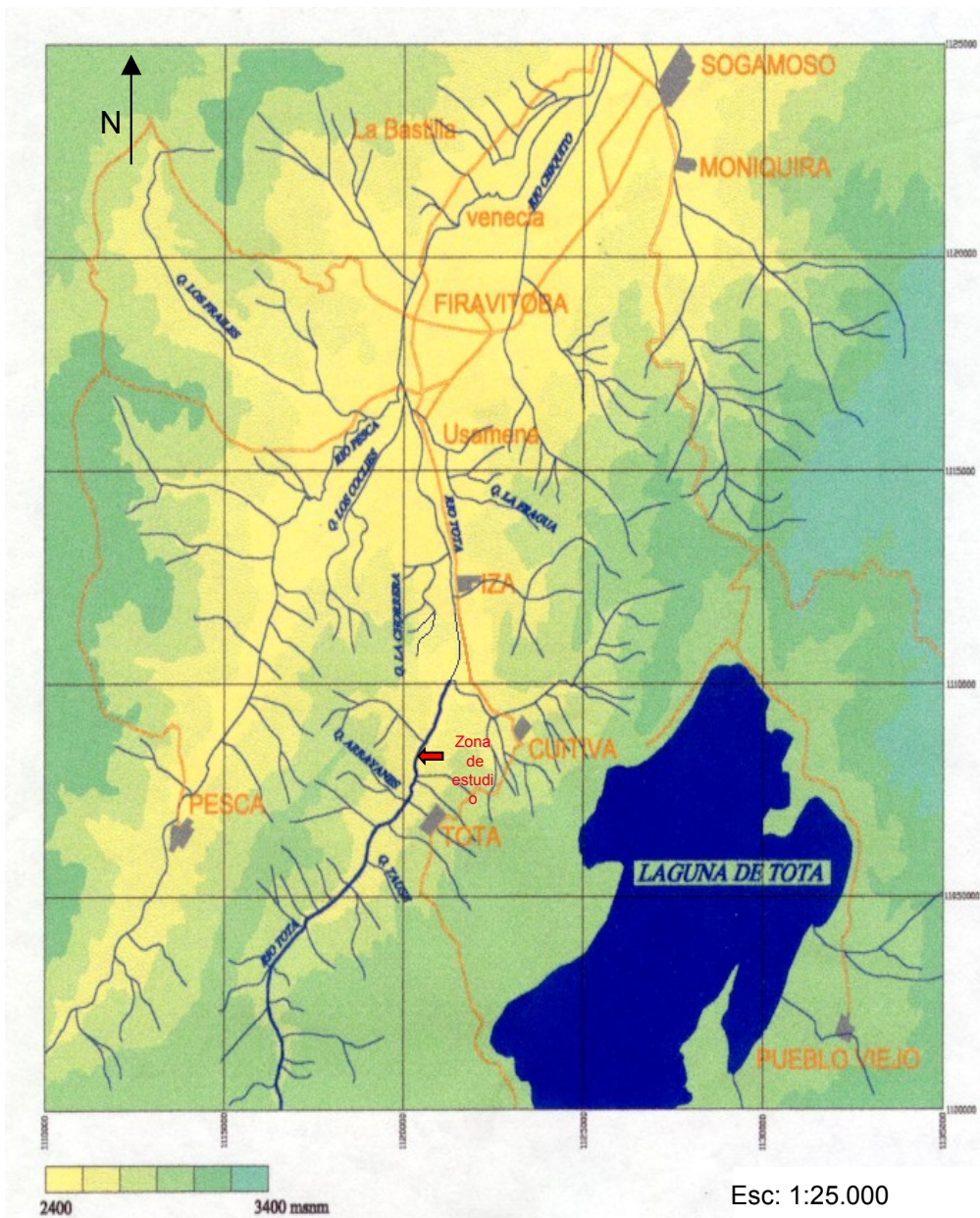


Figura 1 Localización del área de estudio. Escala 1:25.000 Tomado de IGAC 1995.

### 4.3.2. TEMPERATURA Y PRECIPITACION

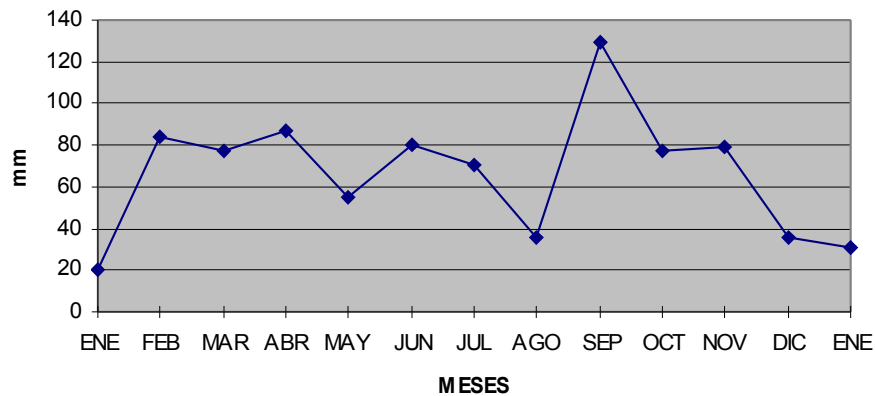


Figura 2. Valores totales de precipitación en mm para la zona de estudio durante el año 2000.

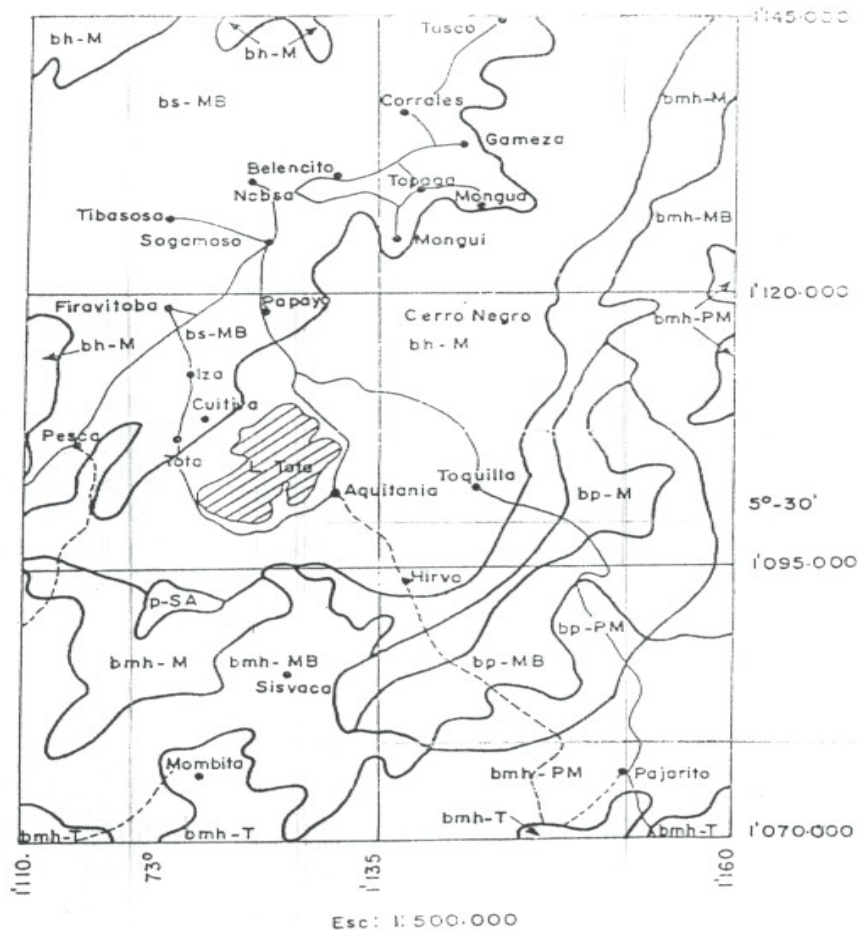
La temperatura del sitio de muestreo oscila entre 9.5 y 14.5 °C, mientras que la temperatura promedio anual del área es de 15 °C, y la precipitación anual es de 833.4 mm, presenta un régimen de lluvias bimodal, con dos períodos de lluvias en los meses de abril (86.8 mm) y septiembre (129.6 mm) (Figura 2), mientras que los períodos más secos corresponden a los meses de mayo y agosto, y un segundo período durante los meses de diciembre, enero y febrero (IDEAM, 2000).

### 4.3.3. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico, presenta valores más altos de evapotranspiración real en los meses de marzo, mayo y septiembre, la reserva de agua existe en todos los meses con excepción de enero, febrero, agosto y diciembre en los cuales existe deficiencia de agua (Perez, 1995).

#### 4.3.4. CLIMA Y VEGETACIÓN

Esta área presenta un clima que corresponde a la zona de vida tropical sub húmeda (Figura3), la vegetación, en su mayor parte es xerófita y mesófila, pero esta vegetación natural fué destruida en su mayor parte para establecer pastos y algunos cultivos, quedando solamente algunas especies como *Alnus acuminata* y *Salix humboldtiana*, ya que la principal actividad de la región es la ganadería y la agricultura especialmente el cultivo de cereales (Carreras, 1975).



**Figura 3. Carta ecológica para la zona de estudio. Escala 1: 500.000. Tomado de IGAC, 1980.**

#### **4.3.5. VIENTOS**

Los vientos que afectan la región son provenientes de los llanos orientales, y presentan sus valores máximos en los meses de julio y agosto con promedios de 6 a 7 m.s<sup>-1</sup>, mientras los vientos que circulan a finales y comienzos del año son de menor velocidad. La presencia de vientos fuertes hace que las nubes se desplacen y por lo tanto en esta época ocurre la estación seca (Perez, 1995).

#### **4.3.6. GEOLOGÍA**

Desde el punto de vista geológico, esta región, es netamente marina y cronológicamente va desde el Cenomaniano hasta el Oligoceno, se caracteriza por la ocurrencia de transgresiones y regresiones que llegan hasta el límite del Paleoceno, ocasionando la depositación de sedimentos de diferentes facies. A partir de este límite hay cierto dominio del ambiente Parálico Continental y el tectonismo al igual que la orogénesis comienza a tener una marcada importancia afectando las formaciones ya depositadas (Perez, 1995).

Los depósitos del área son básicamente del Cuaternario y fluvio lacustres, con aportes del cuerpo ígneo el cual es de composición riolítica y riodacítica, y presenta una fuerte silicificación generada por fluídos hidrotermales; sin embargo,

en la zona hay presencia de algunas rocas, las cuales se encuentran cronológicamente dentro de los pisos Campanarios y Maestrichtiano Inferior del período Cretáceo (Buitrago, 1987).

La geología del área de estudio, tiene sus inicios en el período Cretáceo, donde el mar invadió desde el Pacífico en el suroeste de la región y gradualmente transgredió el área actual de la Cordillera Oriental adquiriendo características de miogeosinclinal, donde se acumularon sedimentos de las formaciones Tibasosa, Une, Churuvita y Ermitaño (Perez, 1995).

La formación Ermitaño, tiene gran parte de sus rocas en el área de estudio, las cuales están constituidas por un miembro inferior, formado por chert negro y limolitas silíceas blancas, con intercalaciones de bancos delgados de calizas y areniscas fosfáticas, mientras que el miembro intermedio está formado de arcillolitas físis grises con algunas intercalaciones de areniscas calcáreas en la parte inferior y la parte superior consta de unos 30m de arenisca dura en bancos gruesos (Buitrago, 1987).

El mar miogeosinclinal alcanzó su máxima extensión en el Cretáceo tardío, cuando se depositaron las fosforitas y liditas. Durante el Maestrichtiano los mares perdieron su profundidad y se retiraron dando lugar al paso de facies marinas parálidas, como lo indican la acumulación de mantos de carbón. Al final del Cretáceo comienzan los movimientos tectónicos de la orogenia Andina. Durante el

terciario, se depositan las formaciones areniscas del Socha y arcillas del Socha, Picacho y concentración de origen continental (Perez, 1995).

A comienzos del cuaternario, ocurrió el emplazamiento volcánico de rocas ácidas en el sector de Cuitiva y su respectiva acción hidrotermal. Hacia el Pleistoceno superior ocurre la facie de sedimentación fluvio lacustre que culminó con la formación de los nuevos valles de Iza y Cuitiva, motivo por el cual gran parte del área de estudio está constituida por depósitos cuaternarios de considerable extensión, sin embargo, otra parte del área está constituido por rocas pertenecientes a la formación Conejo, la cual es una sucesión de intercalaciones de areniscas cuarzosas, blancuzcas en los estratos basales, a su vez presentan minerales como cuarzo glauconita y algunos oxidos de hierro; y simultáneamente a estos eventos se desarrollaron las glaciaciones que generaron los depósitos glaciales al sureste de Iza y al noreste de Cuitiva (Buitrago, 1987).

La fase erosiva contribuyó a la erosión y a la apertura del cuerpo ígneo y de las rocas aledañas originando conos de deyección y la morfología irregular que se observan actualmente, ya que estos depósitos cuaternarios están constituidos por grandes bloques de areniscas desprendidas por efecto de la erosión, como se había mencionado anteriormente, y a su vez embebidos en una matriz arcillo-arenosa de color amarillo ocre a rojizo, probablemente provenientes de las formaciones terciarias topográficamente más elevadas (Buitrago, 1987).

#### **4.3.7. GEOMORFOLOGÍA**

Geomorfológicamente, esta zona es un depósito fluvio lacustre en posición subhorizontal, que genera una topografía plana, sin embargo, estos depósitos son producto de la erosión de los ríos Tota y Pesca que convergen en el río Chiquito, por lo tanto, en esta zona se hace notoria la influencia del cuerpo ígneo que ha contribuido con material a los depósitos fluvio lacustres generando un suelo de características complejas (Perez, 1995).

#### **4.3.8. SUELOS**

Los suelos de esta región están desarrollados sobre valles en relieve plano y drenaje natural pobre, con suelos moderadamente profundos, de texturas finas, pobremente drenados y moderadamente estructurados, los colores predominantes son el gris oscuro en el primer y tercer horizonte, y gris en el segundo y último horizonte (Carreras, 1975).

El perfil del suelo, es homogéneo casi en su totalidad, formado por una textura limo-arcillosa de carácter orgánico, la cual se evidencia por la presencia de raíces de vegetación rastrera, es importante mencionar la gran influencia que el cuerpo volcánico adyacente ha tenido durante la formación de este suelo y a su vez el posible causante de la presencia de aguas termales en la región (Buitrago, 1987).

De otro lado, las características químicas del suelo son las siguientes: reacción casi neutra en el epipedón y alcalina en los demás horizontes, la capacidad catiónica de cambio es mediana en el epipedón y alta en los demás horizontes, bases totales altas en el epipedón y muy altas en los demás horizontes, saturaciones de calcio y magnesio muy altas, saturación de potasio normal en el epipedón y muy alta en los demás horizontes, el contenido de fósforo es normal en el epipedón (Perez, 1995).

#### **4.4. FASE DE CAMPO**

Se realizaron siete muestreos durante el período comprendido entre el mes de marzo hasta septiembre de 2000, cada uno con una duración de quince días, donde se registraron diariamente factores físicos, químicos e hidrológicos y a su vez se recolectaron muestras de algas perifíticas de los sustratos artificiales, como de materia orgánica gruesa proveniente de la vegetación riparia.

##### **4.4.1.VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

En la estación de muestreo se registraron datos diarios *in situ* de los parámetros físico-químicos tales como temperatura del agua ( °C), pH el cual se midió con un pH-metro calibrado, oxígeno con un oxímetro YSI modelo 57, la luz con un

luxímetro modelo MST, los rayos UV con un radiómetro modelo UVX digital radiometer, y la conductividad con un conductímetro YSI modelo 33.

Además se tomaron muestras de agua cada cinco días, las cuales se preservaron con cloroformo, para análisis en el laboratorio de nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, sílice y alcalinidad, mediante las siguientes técnicas:

**Tabla 1. Métodos de análisis de alcalinidad, nitrito, nitrato, fosfato, y sílice empleados en el laboratorio.**

VARIABLE	TÉCNICA	LIMITE DE DETECCIÓN	DE
AMONIO	Colorimétrico- amonio por Nessler	0.01 mg l <sup>-1</sup> N	
ALCALINIDAD	Titulación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2 mg l <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	
NITRITO	Colorimétrico α-Nafilamina hidrocloruro	e 0.01 mg l <sup>-1</sup> N	
NITRATO	Acido fenol disulfónico	0.01 mg l <sup>-1</sup> N	
FOSFATOS	Colorimétrico con Cloruro Ectannoso	0.05 mg l <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub>	
SÍLICE	Molitosilicato	0.2 mg l <sup>-1</sup> Si	

#### 4.4.2. VARIABLES HIDROLÓGICAS

Diariamente se registró la velocidad de corriente (m.s<sup>-1</sup>), la amplitud del cauce (m), la profundidad media (m) y el caudal o flujo, este último se calculó con la siguiente fórmula:

$$Q = w d l a / t$$

donde  $w$  es el ancho en metros de la sección transversal,  $d$  es la profundidad media en metros,  $l$  es la distancia sobre la cual viaja el objeto que flota en un tiempo dado,  $t$  es el tiempo en segundos y  $a$  es el coeficiente que varía con la naturaleza del sedimento (0.8 si es grueso y 0.9 si es suave),  $e$  indica la fricción de la masa de agua con el lecho del río (Hynes, 1970; Allan, 1995).

#### **4.4.3. VARIABLES BIOLÓGICAS**

En el punto de muestreo, se colocó un sustrato artificial para la colonización de algas perifíticas. Este consistió de baldosas de cerámica no transparente de 5 x 5 x 0.5, suspendidas sobre marcos de metal, en dirección perpendicular a la corriente, e inclinadas y fijadas al fondo del río con tubos metálicos resistentes (Stevenson, 1983; Poff *et al.*, 1990). En el sustrato se colocaron 45 cerámicas distribuidas en tres filas de quince, en posición inclinada y a contracorriente, en el cual se registraron los datos de abundancia y productividad de la comunidad perifítica durante 15 días (Figura 4).

Cada día se recogieron tres muestras al retirar las cerámicas, dos de ellas se obtuvieron raspando los individuos colonizadores y posteriormente la muestra obtenida se introdujo en un frasco con 10 ml de agua destilada y 10 ml de solución transeau, agua destilada, alcohol 70%, y formol 40%, en proporción 6:3:1, con el propósito de fijar la muestra (Donato, *et al.*, 1986), para así determinar

taxonómicamente la comunidad del perifiton y posteriormente para conocer la abundancia y diversidad de dicha comunidad se realizó un análisis cuantitativo.

Con la tercera placa de colonización se estimó la productividad de la comunidad de algas perifíticas mediante el uso del método de Acumulación de Biomasa propuesto por APHA, AWWA y WEF (1998).



**Figura 4. Sustrato artificial para la colonización de algas perifíticas colocado en la parte media del río Tota.**

#### 4.4.4. MATERIA ORGÁNICA

Para coleccionar la materia orgánica procedente de la vegetación aledaña al río se estableció un transecto de 100 metros, donde se ubicaron entre el dosel de los árboles y la superficie del río (Figura 5), 6 colectores de fibra de poro de 2x3m, separados 5 m unos de otros. La recolección del material orgánico procedente de los árboles aledaños al río, se realizó cada 24 horas. Para el transporte al laboratorio, el material obtenido se introdujo en bolsas plásticas previamente rotuladas.

Con el propósito conocer la especie dominante y la relación existente con los aportes de materia orgánica procedentes de la vegetación riparia, se cuantificó la abundancia de las especies por conteo directo de los árboles a lo largo del transecto; luego se determinó la cobertura por medio del cálculo directo en m<sup>2</sup> del área que proyecta sobre el suelo la copa de cada individuo de los estratos altos y bajos, se sumaron las proyecciones de cada individuo arbóreo, y se expresaron en porcentaje (Rangel, *et al.*, 1997).





**Figura 5. Colectores de fibra de poro para materia organica procedente de la vegetación aledaña al río Tota.**

## **4.5. FASE DE LABORATORIO**

### **4.5.1. ANÁLISIS CUALITATIVO**

Para determinar los géneros y especies de la comunidad de algas del perifiton se emplearon claves taxónomicas especializadas de Desikachary (1959), Forster (1972), Prescott (1975), Rivera, *et al.* (1982), Komarek & Fott (1983), Bourelly (1985), Krammer & Lange-Bertalot (1986), Tell, *et al.* (1986), De Olivera, *et al.* (1986), Coesel (1991), Krammer & Lange-Bertalot (1991), Krammer (1992), Lange-Bertalot (1993), Comas (1996), Metzelin & Lange-Bertalot (1998), Lange-Bertalot & Genkal (1999).

Para la identificación y determinación de diatomeas, se limpiaron previamente las muestras, mediante la técnica de oxidación (Renberg, 1981, citado en Donato *et*

*al.*, 1996), luego se depositaron en placas permanentes utilizando Bálsamo de Cánada.

#### **4.5.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO**

El análisis cuantitativo se realizó mediante el uso de microscopio invertido y cámaras de sedimentación, debido a que este método no es selectivo ni destructivo (APHA, 1998), y además, se pueden utilizar diferentes volúmenes de muestra dependiendo de la densidad (Margalef, 1983).

Para realizar el conteo se tomó un 1ml de muestra y se le agregaron 10 ml de agua destilada dentro de la cámara de sedimentación dejándola 24 horas antes de ser observada al microscopio; donde se consideró un conteo superior a 400 individuos de la especie más representativa (Donato, *et al.*, 1986).

Luego de realizar el conteo, y para tener una medida de abundancia expresada en número de células por área de sustrato se utilizó la fórmula de APHA (1998)

$$\frac{\text{Total células perifiton}}{\text{cm}^2 \text{ de superficie}} = \frac{N \times At \times Vt}{Ac \times Vs \times As}$$

donde, N, es el número de individuos contados, At, es el área total del fondo de la cámara de sedimentación en cm<sup>2</sup>, Vt, es el volumen total de la suspensión original de la muestra en ml, Ac, es el área contada (campo óptico) en cm<sup>2</sup>, Vs, es el volumen de la muestra usada ml, y As, es el área del sustrato en cm<sup>2</sup>.

### 4.5.3.PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD

La productividad de la comunidad, en este caso entendida como el cambio de biomasa observada (incluyendo las pérdidas) después de un tiempo t, se estimó a través del método de Acumulación de Biomasa propuesto por APHA, AWWA Y WEF (1998):

$$P = [ SV(\tau_2) - SV(\tau_1) ] / (A \times \Delta t)$$

donde P = Productividad (mg C .m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>)

SV =Sólidos volátiles (mg C)

A =Area del raspado en m<sup>2</sup>

Δt =Intervalo de tiempo entre uno y otro muestreo.

Una vez retiradas las muestras se dejaron secar y se conservaron en condiciones oscuras y secas hasta el laboratorio, donde se procedió a raspar cuidadosamente las placas, depositando el material en crisoles de porcelana, previamente pesados, con 10 ml de agua destilada. Posteriormente los crisoles con el material se sometieron a temperaturas entre 65-70 °C en una mufla por 24 horas.

A continuación se pesaron los crisoles, y el incremento de peso (P1) con respecto al peso inicial del crisol (Po) representa los sólidos suspendidos totales de la muestra. Para los sólidos suspendidos volátiles (material orgánico), el material obtenido del paso anterior se calcinó a 550 °C por dos horas, luego de lo cual se pesaron y el valor obtenido (P2) sustraído de (P1) representó el material orgánico

presente en la muestra. La diferencia entre el resultado anterior (P2) y el peso inicial (Po) permitió cuantificar los sólidos fijos suspendidos equivalentes al material inorgánico.

Sin embargo, después de la calcinación a 550 °C, se procedió a humedecer las cenizas con agua destilada y se sometieron nuevamente a temperaturas de 70 °C por 24 horas, para reintroducir el agua de hidratación de las arcillas y otros minerales que no se extraen a 70 °C, pero que se pierde a 550 °C, y considerar este valor como el verdadero peso (P2), aunque se pueden presentar valores negativos, debido a que la comunidad registra pérdidas ocasionadas por diferentes factores.

#### **4.5.4. MATERIA ORGÁNICA ALÓCTONA**

El material orgánico colectado se separó, en hojas, flores, frutos, semillas, ramas, insectos y se procedió a secarlos a 65°C, durante 48 horas, para determinar y calcular el peso seco ( $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ ) de materia orgánica de cada uno de los componentes anteriormente mencionados.

Sin embargo, para calcular los aportes de materia orgánica en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , se utilizó el área proporcionada por los colectores ubicados en la parte media del río Tota. Con el fin de calcular el aporte de materia orgánica gruesa a lo largo de la cuenca de drenaje del río, los datos se transformaron a  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ .

El área de drenaje se calculó a partir del método de medición de áreas utilizando la técnica de la cuadrícula (mm).

En este método, primero se cuenta el número de cuadrículas (5.5 mm) que quedan sobre y dentro del perímetro del área a medir. Luego, se calcula el área del terreno a partir de un mapa del sitio de muestreo de escala 1:25000. Para el caso que corresponde al área de drenaje del río Tota el valor obtenido fué de 15.625 m<sup>2</sup>.

Posteriormente, para calcular el valor del área de cuenca de drenaje, se multiplicó el valor del área del terreno por el número de cuadrículas, obtenidas para la cuenca del río Tota (340.625 ha). Finalmente, con este valor se obtuvo los aportes de materia orgánica gruesa en g.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

## **4.6. FASE DE ANÁLISIS DE DATOS**

### **4.6.1. DIVERSIDAD Y RIQUEZA**

La diversidad es una medida instantánea que se aplica a una comunidad limitada, en esta caso a las algas perifíticas y se expresa como los elementos de la comunidad distribuidos en las diferentes especies (Margalef, 1983).

El índice de diversidad empleado fue el de Shannon-Weaver, el cual explica la estructura de la comunidad como medida de las diferentes interacciones de los elementos del sistema (Margalef, 1983).

$$H = - \sum p_i \ln p_i$$

donde  $p_i$  es igual a  $n_i/N$ ,  $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$ ,  $N$  es el número total de individuos de la muestra.

Para estimar la riqueza se aplicó el índice de Margalef, el cual supone una relación funcional entre el número de especies y el tamaño de la muestra con una distribución uniforme de las especies en su hábitat. La ventaja de usar este índice es obtener el valor de riqueza independientemente del tamaño de la muestra, además de no requerir muestras aleatorias (Margalef, 1983).

$$R_1 = S - 1 / \ln N$$

Donde  $S$  es el número de especies y  $N$  el número de individuos de la muestra.

#### **4.6.2. ANÁLISIS DE VARIANZA**

El análisis de varianza, ANOVA, empleado en este caso, se realizó mediante el programa estadístico SPSS, versión 7.5, el cual proporciona el procedimiento inferencial para probar la hipótesis nula permitiendo de esta forma una comprensión natural del problema (Canavos, 1988).

Este análisis consiste en la división de la variación total de las observaciones en sus partes componentes de acuerdo con el modelo propuesto, encontrando de esta manera la magnitud con la que contribuyen cada una de estas fuentes a la variación total (Canavos, 1988).

El análisis de varianza en esta investigación se realizó con el objeto de determinar las diferentes causas que producen variabilidad de los datos en cuanto a la cantidad de materia orgánica caída, precipitación, velocidad de corriente, luz, temperatura, alcalinidad, cantidad de nitrógeno y fósforo y la productividad primaria de la comunidad, así como observar las variaciones entre la diversidad y abundancia durante los días de muestreo y entre los diferentes períodos estacionales.

#### **4.6.3. CORRELACIONES LINEALES**

La correlación lineal es una técnica utilizada para descubrir la relación entre la variable de respuesta y las variables de predicción, proporcionando medios legítimos a través de los cuales pueden establecerse relaciones entre las variables de interés en las cuales la relación usual no es causal (Canavos, 1988). Por lo tanto, la correlación lineal se realizará con el objeto de determinar el comportamiento y las relaciones existentes entre variables climáticas como lluvias, y las variables hidrológicas como caudal, amplitud del cauce, velocidad de la corriente.

Adicionalmente, se pretende determinar la variación de la productividad primaria de la comunidad perifítica en relación a las variables climáticas, físicas, químicas e hidrológicas y precisar la variación de los aportes de materia orgánica procedente de la vegetación riparia con relación a los factores climáticos.

#### **4.6.4. ANÁLISIS DE ORDENACIÓN**

El análisis de ordenación, se realizó mediante el programa estadístico PCORD versión 3.17, el cual se emplea para reducir el número de ejes de variación, simplificando el espacio multidimensional hasta obtener un sistema que contiene la mayor parte de la variación en pocos ejes, en los cuales se recupera la máxima cantidad de información (Matteucci & Colma, 1982).

Para interpretar los patrones temporales de las variables biológicas se utilizó un Análisis de Correspondencia con la corrección del efecto "arco" (DECORANA), para establecer los patrones temporales en el comportamiento de las variables ambientales y su relación con la productividad de la comunidad perifítica y la densidad algal se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP).

Con el propósito de establecer las relaciones entre los factores hidrológicos, físicos y químicos con las especies presentes, se utilizó el Análisis de Correspondencia Canónica. Para todos estos análisis se siguieron las recomendaciones de Jongman *et al* (1995).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. DINÁMICA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS E HIDROLÓGICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.

#### 5.1.1. CLIMA Y PRECIPITACIÓN

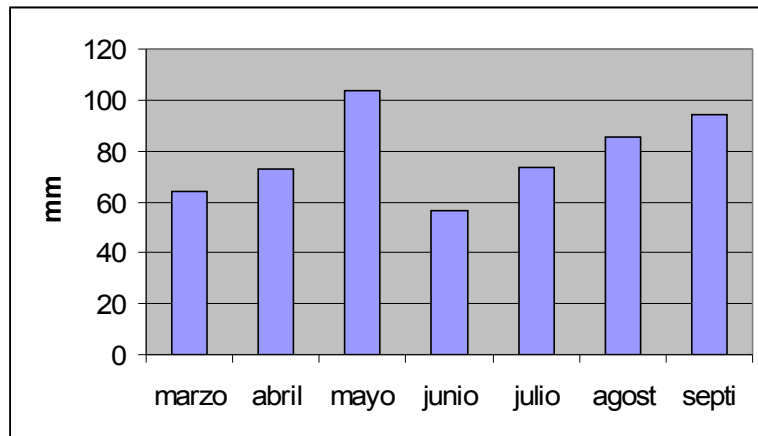


Figura 6. Valores totales mensuales de precipitación de la parte media del río Tota.

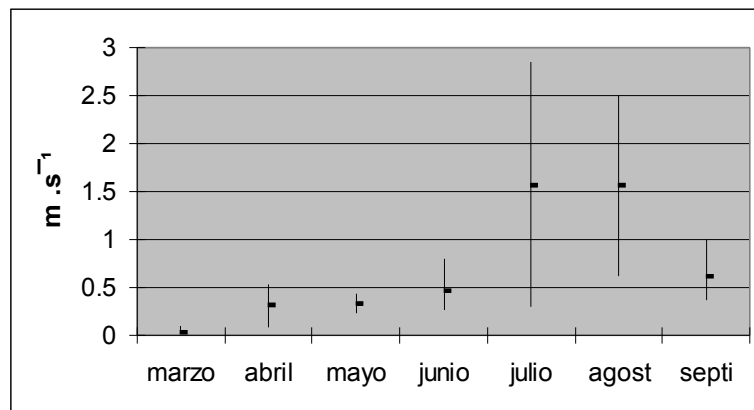
Los valores de precipitación, presentaron tendencias climáticas diferentes, con dos períodos de lluvias en los meses de abril y mayo, y de julio a septiembre, mientras que los períodos más secos corresponden a marzo, y un segundo período a junio. El valor máximo diario de precipitación fue de 25.2 mm, registrado el día 6 del mes de julio, mientras que se registraron días sin lluvia en los días del 2 al 5 marzo, del 7 al 10 de marzo, 2 de junio, del 8 al 9 de junio, 11 de junio, y 15 de junio (Figura 6). Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo, ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.952$ ), ni entre períodos estacionales ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;

$p=0.303$ ). La media de precipitación de los siete muestreos fue de 2.62 mm, presentando un coeficiente de variación de 58.61%.

## 5.1.2. HIDROLOGÍA

Las variaciones registradas en estas variables, estuvieron sujetas a los valores de precipitación y el clima de cada período de estudio. Sin embargo las tendencias en cada variable hidrológica fueron estacionales.

### 5.1.2.1. VELOCIDAD DE LA CORRIENTE DEL AGUA



**Figura 7. Valores máximos, mínimos y medios de velocidad de la corriente del agua encontrados en la parte media del río Tota.**

La máxima velocidad de la corriente del agua registrada fue de 2.85 m.s<sup>-1</sup>, que coincide con el día que presentó el máximo período de lluvias de 25.2 mm. El valor mínimo de la velocidad de la corriente fue de 0.02 m.s<sup>-1</sup> y se presentaron los días 9, 12 y 13 del mes de marzo (Figura 7). No existe diferencias significativas entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.996$ ), pero entre los meses de estudio

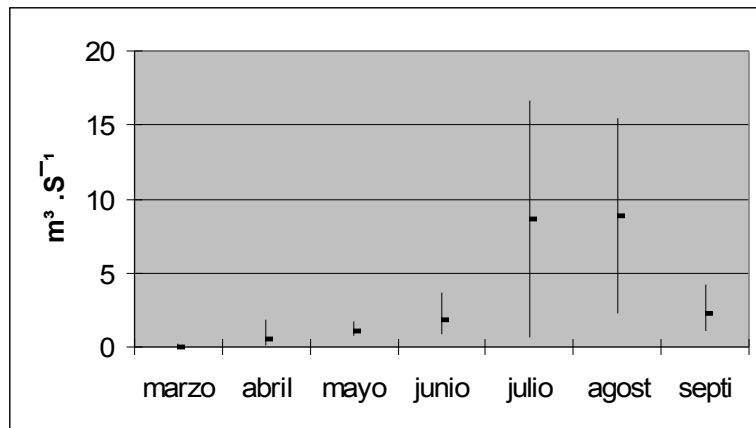
se observan diferencias significativas ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ). Para los siete muestreos, la media fue de  $0.52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , presentando un coeficiente de variación de 91.61%.

La velocidad de corriente está correlacionada con las variables hidrológicas como amplitud del cauce, flujo y profundidad (Tabla 2).

**Tabla 2 Valores de correlación de Pearson, de la velocidad de corriente obtenidas entre los meses de muestreo.**

VARIABLE	n	R	p
AMPLITUD DEL CAUCE	101	0.35	0.000
FLUJO	101	0.98	0.000
PROFUNDIDAD	101	0.68	0.000

### 5.1.2.2. FLUJO O CAUDAL



**Figura 8. Valores máximos, mínimos y medios de flujo o caudal, encontrados en la parte media del río Tota.**

El valor máximo de flujo o caudal fue de  $16.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , registrado el día 7 del mes de julio, en el cual se presentaron lluvias locales y en la cabecera del río. El valor mínimo fue de  $0.01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y se presentó el día 10 de marzo, el cual coincide con la época seca del período de estudio (Figura 8).

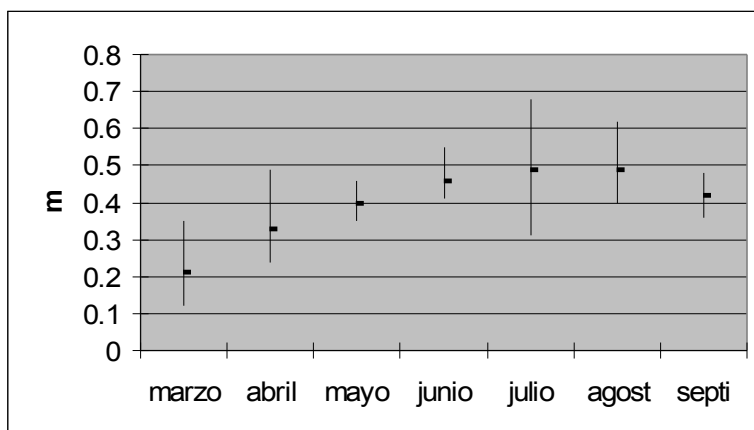
Para los datos obtenidos en esta variable no existen diferencias significativas entre los días ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.963$ ), aunque se probaron diferencias significativas entre los meses de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ). En general, el caudal registró una media de  $2.16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , presentando un coeficiente de variación de 129.36%.

El flujo presenta una correlación positiva y significativa con la velocidad de corriente, la amplitud del cauce y la profundidad (Tabla 3).

**Tabla 3. Valores de correlación de Pearson (r), obtenidos durante los meses de muestreo para el caudal.**

VARIABLE	n	r	p
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	0.98	0.000
AMPLITUD DEL CAUCE	101	0.32	0.000
PROFUNDIDAD	101	0.63	0.000

### 5.1.2.3. PROFUNDIDAD



**Figura 9. Valores máximos, mínimos y medios de profundidad media, encontrados en el río Tota.**

El valor máximo de profundidad media, es de 0.68 m, registrado el día 7 del mes de julio, mientras que el valor mínimo fue de 0.12 m (Figura 9) y corresponde al día 10 de marzo.

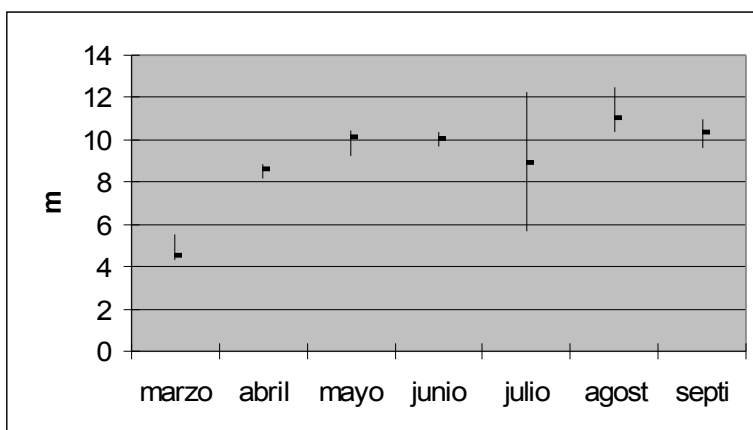
Los valores de esta variable presentaron una variación temporal significativa ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ), sin embargo, a nivel diario no se registran diferencias significativas ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=1.000$ ). La media de la profundidad en los siete muestreos fue de 0.40 m, con un coeficiente de variación de 27.92%.

La profundidad se correlaciona positivamente con la amplitud del cauce, flujo o caudal, y velocidad de la corriente del agua (Tabla 4).

**Tabla 4. Valores de correlación de Pearson (r), obtenidas para la profundidad.**

VARIABLE	n	r	p
AMPLITUD DEL CAUCE	101	0.69	0.000
CAUDAL	101	0.63	0.000
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	0.68	0.000

#### 5.1.2.4. AMPLITUD DEL CAUCE



**Figura 10. Valores máximos, mínimos y medios de amplitud del cauce del río Tota.**

La máxima de amplitud del cauce fue de 12.5 m, y se registró el día 7 del mes de julio, en el cual se presentó el máximo valor de la velocidad de la corriente y el caudal, mientras que el valor mínimo fue de 4.28 m (Figura 10) y se presentó el día 5 de marzo.

Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=1.000$ ), pero entre los meses se observa una variación significativa en los valores de amplitud del cauce del río ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ).

La media de los siete períodos de estudio fue de 9.11 m, presentando un coeficiente de variación de 24.49%.

La amplitud del cauce presentó correlaciones positivas con el flujo, profundidad, y velocidad de la corriente (Tabla 5).

**Tabla 5. Valores de correlación de Pearson (r), obtenidos para la amplitud del cauce y registrados entre los meses de muestreo.**

VARIABLE	n	r	p
FLUJO O CAUDAL	101	0.32	0.000
PROFUNDIDAD	101	0.69	0.000
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	0.35	0.000

Las correlaciones entre las variables hidrológicas son altas y positivas, la máxima correlación se presentó entre el flujo y la velocidad de corriente del agua ( $n=101$ ;  $r=0.98$ ;  $p=0.000$ ). Los valores de todas las correlaciones se encuentran registradas en el Anexo 4.

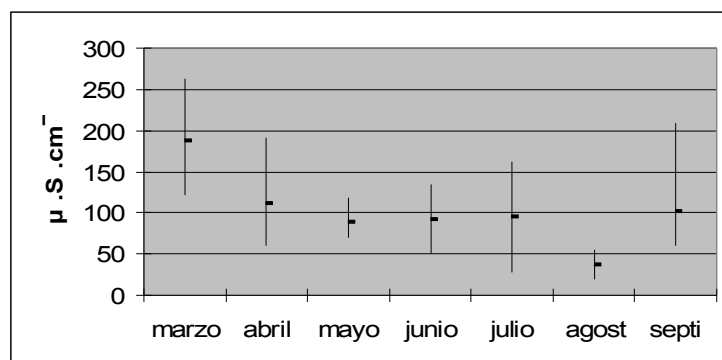
Los valores medios, máximos, mínimos, mediana y desviación estándar de las variables hidrológicas y climáticas medidas en todos los periodos de estudio se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6. Resumen de la estadística descriptiva de las variables hidrológicas y climáticas (lluvias) medidas en todos los periodos de estudio.**

VARIABLE	MAXIMO	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTANDAR
PRECIPITACION	25.2	2.63	0	0.2	4.84
VELOCIDAD DE CORRIENTE	2.85	0.52	0.02	0.42	0.48
FLUJO O CAUDAL	16.7	2.17	0.1	1.37	2.81
PROFUNDIDAD	0.68	0.40	0.12	0.42	11.30
AMPLITUD DEL CAUCE	12.5	9.11	4.28	10.1	2.23

## 5.2. VARIABLES FÍSICAS Y SU DINÁMICA DIARIA EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA

### 5.2.1. CONDUCTIVIDAD



**Figura 11. Valores máximos, mínimos y medios de conductividad registrados en el río Tota.**

El valor máximo de conductividad fue de 262  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , registrado el día 12 del mes de marzo, mientras que el valor mínimo fue de 19  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y se presentó el día 4 del muestreo realizado en agosto (Figura 11).

Los valores de conductividad no presentaron variabilidad significativa entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.997$ ), pero entre los meses existen diferencias significativas entre los datos ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ).

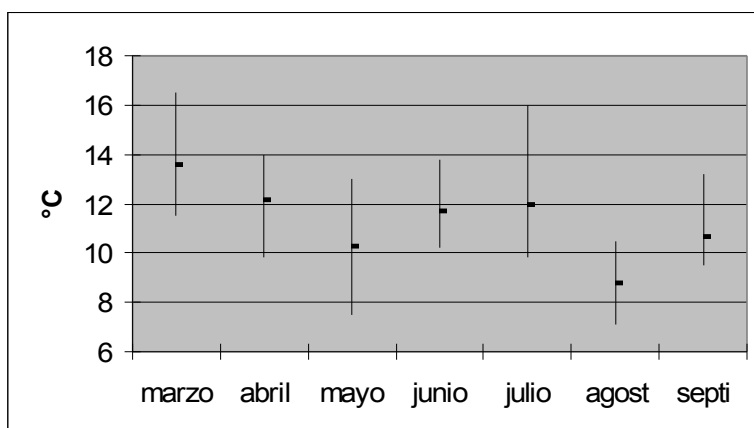
En los siete muestreos realizados, la conductividad presentó una media de  $94.94 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , con un coeficiente de variación de 58.61%.

La conductividad muestra una correlación positiva con la temperatura y alcalinidad, y negativa con las variables hidrológicas y el oxígeno (Tabla 7).

**Tabla 7. Coeficientes de correlación de Pearson, de conductividad obtenidas entre los períodos de estudio.**

VARIABLE	n	r	p
TEMPERATURA	101	0.53	0.000
ALCALINIDAD	101	0.7	0.000
CAUDAL	101	-0.28	0.003
PROFUNDIDAD	101	-0.63	0.000
AMPLITUD DEL CAUCE	101	-0.61	0.000
OXIGENO DISUELTO	101	-0.29	0.000

## 5.2.2. TEMPERATURA DEL AGUA



**Figura 12. Valores máximos, mínimos y medios de temperatura del agua del río Tota.**

El valor máximo de temperatura del agua es de 16.5 °C, registrado el día 12 del mes de marzo, mientras que el valor mínimo fue de 7.1 °C y se presentó el día 15 del muestreo realizado en agosto (Figura 12).

La temperatura media de los siete muestreos fue de 11.5 °C, presentando un coeficiente de variación de 16.46%.

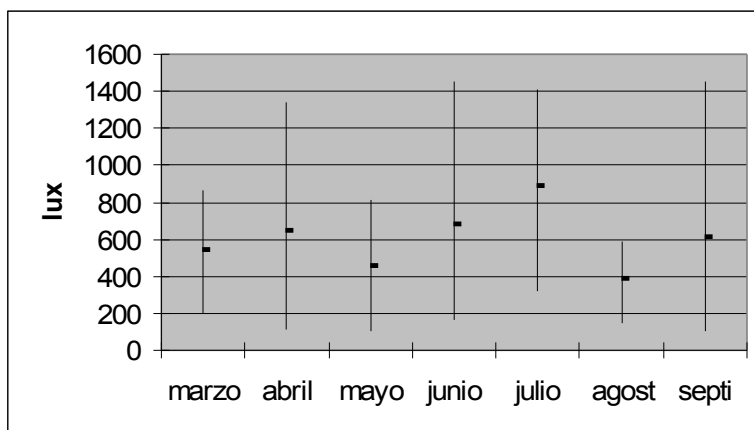
Se observa una variabilidad significativa entre los periodos estacionales ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ), sin embargo, no se observa diferencias significativas entre los días del muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.965$ ).

Datos sobre las correlaciones de temperatura con otras variables se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8. Valores de correlación de Pearson, de la temperatura obtenidas durante los meses de estudio.**

VARIABLE	n	r	p
ALCALINIDAD	101	0.46	0.000
CONDUCTIVIDAD	101	0.53	0.000
LUZ	101	0.31	0.001
RADIACION	101	0.26	0.008

### **5.2.3. LUZ**



**Figura 13. Valores máximos, mínimos y medios de luz, encontrados en la parte media del río**

**Tota.**

El valor máximo de luz es de 1453 lux, registrado el día 13 del mes de junio, mientras que el valor mínimo fue de 102 lux, y se presentó el día 4 del muestreo realizado en septiembre (Figura 13).

Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.220$ ), pero entre los periodos estacionales se observa una variabilidad significativa ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ).

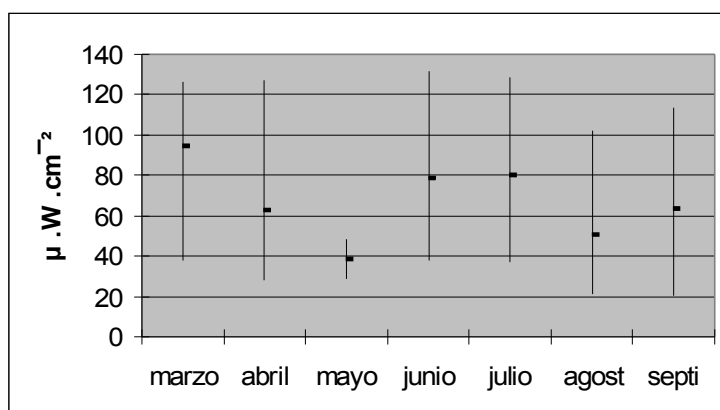
El valor medio durante los siete períodos de estudio fue de 581.00 lux, presentando un coeficiente de variación de 61.07%.

La luz se correlaciona significativamente con la radiación ultravioleta y temperatura del agua (Tabla 9).

**Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson, de luz registradas entre los meses de muestreo.**

VARIABLE	n	r	p
RADIACION ULTRAVIOLETA	101	0.7	0.000
TEMPERATURA	101	0.31	0.001

#### 5.2.4. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA



**Figura 14. Valores máximos, mínimos y medios de radiación ultravioleta, encontrados en la parte media del río Tota**

El máximo valor de radiación ultravioleta fue de 131.3  $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , registrado el día 11 del mes de junio, mientras que el valor mínimo fue de 29.3  $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , y se presentó el día 9 del muestreo realizado en septiembre (Figura 14).

La media de los siete muestreos fue de 65.29  $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , presentando un coeficiente de variación de 51.24%.

Las diferencias entre los valores de rayos ultravioleta fueron significativos a nivel estacional (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.000), pero a nivel diario no fueron significativos (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.423). Sin embargo, está correlacionada con la luz ( n=101, r= 0.71, p= 0.000) y temperatura (n=101, r=0.26, p=0.008).

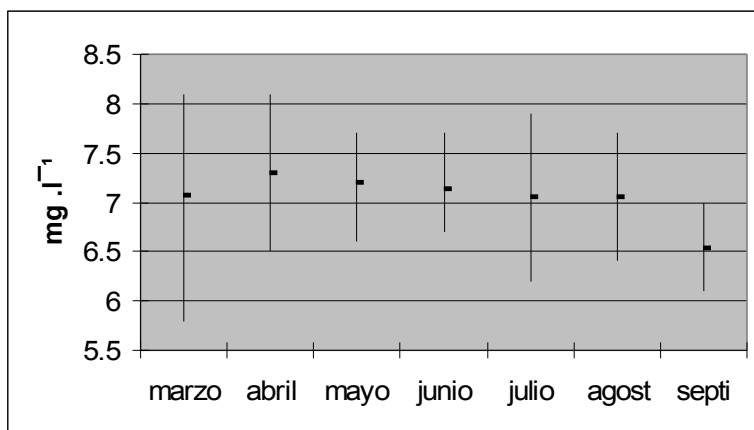
Los valores medios, máximos, mínimos, mediana y desviación estándar de las variables físicas medidas en todos los períodos de estudio se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10. Estadística descriptiva de las variables físicas medidas en todos los períodos de estudio.**

VARIABLE	MAXIMO	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTANDAR
CONDUCTIVIDAD	262	94.94	19	79	55.64
TEMPERATURA	16.5	11.48	7.1	11.5	1.8912
LUZ	1453	581.00	102	481	354.86
RADIACION UV	131.3	65.29	0.29	59.4	33.46

### **5.3. COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES QUÍMICAS EN EL RÍO TOTA**

#### **5.2.2. OXÍGENO DISUELTO**



**Figura 15. Valores máximos, mínimos y medios de oxígeno disuelto encontrados en la parte media del río Tota.**

En los siete muestreos realizados, presentó una media de 7.12 mg.l<sup>-1</sup>, y un coeficiente de variación de 6.79%.

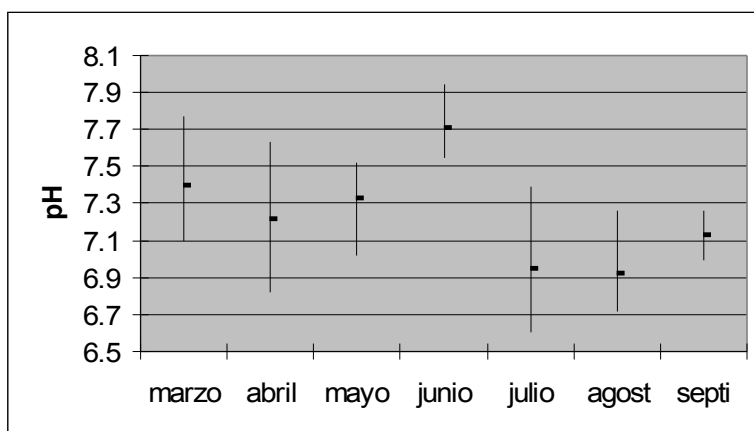
El valor máximo de oxígeno disuelto fue de 8.1 mg.l<sup>-1</sup>, registrados los días 8 del mes de marzo y el 5 del muestreo realizado en abril, mientras que el valor mínimo fue de 5.8 mg l<sup>-1</sup> y se presentó el día 15 del muestreo correspondiente al mes de marzo (Figura 15). Los valores registraron variaciones significativas entre los meses ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ), pero no entre días ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.951$ ).

El oxígeno disuelto presenta una correlación alta y positiva con las variables hidrológicas, mientras que con la temperatura y alcalinidad la correlación es negativa (Tabla 11).

**Tabla 11. Coeficientes de correlación de Pearson, del oxígeno disuelto registradas entre los meses de muestreo**

VARIABLE	n	r	p
AMPLITUD DEL CAUCE	101	0.25	0.009
CAUDAL	101	0.34	0.000
PROFUNDIDAD	101	0.41	0.000
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	0.36	0.000
TEMPERATURA	101	-0.21	0.000
ALCALINIDAD	101	-0.25	0.000

### 5.3.2. pH



**Figura 16. Valores máximos, mínimos y medios de pH encontrados en la parte media del río Tota.**

El valor de pH más alcalino fue de 7.94, registrado los días 10 y 11 del muestreo realizado en el mes de junio, mientras que el valor mínimo fue de 6.6 y se presentó el día 11 del muestreo realizado en julio (Figura 16). El valor medio de los siete muestreos fue de 7.24, presentando un coeficiente de variación de 4.43%.

Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=1.000$ ), pero entre los períodos estacionales se observa una variabilidad significativa ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ). Sin embargo, el pH está

correlacionado negativamente con el flujo y la velocidad de la corriente, pero se encuentra correlacionado positivamente con la productividad de la comunidad perifítica (Tabla 12).

**Tabla 12. Valores de correlación de Pearson, de pH registradas en el río Tota.**

VARIABLE	n	r	p
CAUDAL	101	-0.31	0.001
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	-0.34	0.000

### 5.3.3. ALCALINIDAD

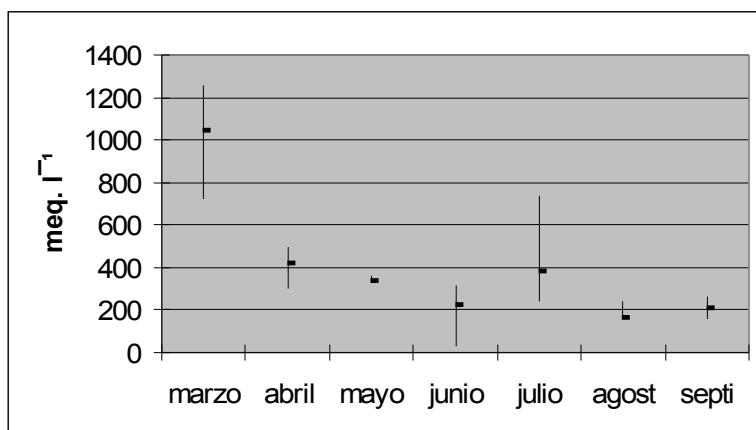


Figura 17. Valores máximos, mínimos y medios de alcalinidad, encontrados en el río Tota.

El máximo valor de alcalinidad fue de 1258.99 meq.l<sup>-1</sup>, registrado los días 10, 11, 12, 13 y 14 de marzo, mientras que el valor mínimo fue de 31 meq.l<sup>-1</sup> y se presentó el día 14 julio (Figura 17). La alcalinidad media para los siete muestreos fue de 398.71 meq.l<sup>-1</sup>, con un coeficiente de variación de 23.67 %.

No hay variabilidad significativa entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.908$ ), sin embargo entre los valores mensuales si hay diferencias significativas ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ).

La alcalinidad presenta una correlación negativa con variables hidrológicas, oxígeno disuelto y temperatura, pero a su vez se encuentra positivamente correlacionada con la conductividad (Tabla 13).

**Tabla 13. Coeficientes de correlación de Pearson, de alcalinidad encontradas entre los meses de muestreo.**

VARIABLE	n	r	p
AMPLITUD DEL CAUCE	101	-0.85	0.000
PROFUNDIDAD	101	-0.63	0.000
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	-0.19	0.047
OXIGENO DISUELTO	101	-0.25	0.008
TEMPERATURA	101	-0.46	0.000
CONDUCTIVIDAD	101	0.7	0.000

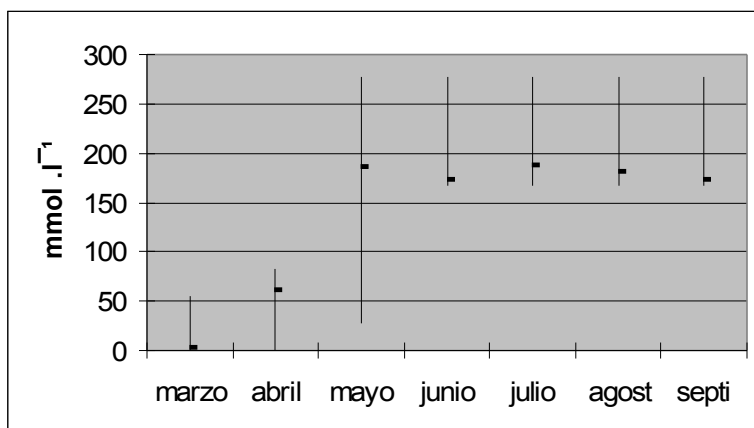
Datos sobre la estadística descriptiva de esta variable se consignan en la tabla 14.

**Tabla 14. Valores medios, máximos, mínimos, mediana y desviación estándar de las variables químicas registradas en todos los períodos de estudio.**

VARIABLE	MAXIMO	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTANDAR
OXIGENO	8.1	7.12	5.8	7.2	0.48
PH	7.94	7.24	6.6	7.21	0.32
ALCALINIDAD	1258.99	398.25	31	388.25	94.38

## 5.3.4. CATIONES MINORITARIOS

### 5.3.4.1. AMONIO



**Figura 18. Valores máximos, mínimos y medios de amonio, encontrados en la parte media del río Tota**

El máximo valor de amonio fue de 277.18 mmol.l<sup>-1</sup>, y se registró los días 3 de mayo, 5 de mayo, 12 de mayo, 3 de junio, 7 de julio, 10 de julio, 12 de julio, 4 de agosto, 9 de agosto, 14 de septiembre, mientras que el valor mínimo fue de 0 mmol.l<sup>-1</sup> y se presentaron los días del 1 al 13 marzo, 15 de marzo, y del 1 al 4 de abril (Figura 18).

No hay variabilidad significativa entre los días de muestreo ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=1.000$ ), pero entre los meses se observa una variabilidad significativa ( $n=104$ ;  $\alpha$

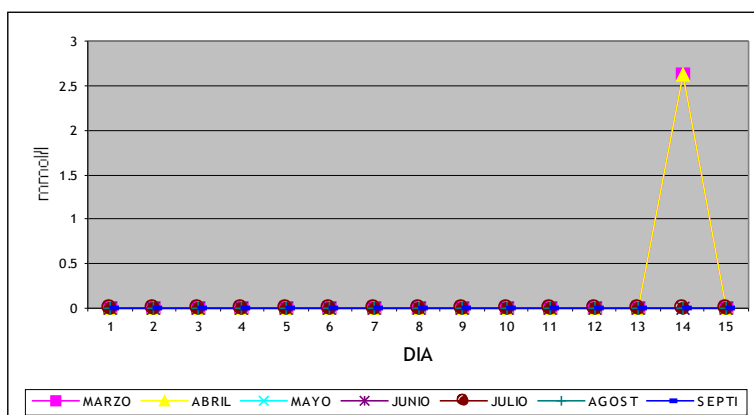
=0.05; p=0.000). El valor medio de amonio para los siete muestreos, fue de 138.32 mmol l<sup>-1</sup>, presentando un coeficiente de variación de 57.52%.

El amonio está positivamente correlacionado con las variables hidrológicas y oxígeno disuelto, y negativamente con la conductividad y la radiación ultravioleta (Tabla 15).

**Tabla 15. Valores de correlación de Pearson, de amonio obtenidas entre el período de estudio.**

VARIABLE	n	r	p
AMPLITUD DEL CAUCE	101	0.51	0.000
CAUDAL	101	0.26	0.007
PROFUNDIDAD	101	0.47	0.000
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	0.27	0.004
OXIGENO DISUELTO	101	0.29	0.003
CONDUCTIVIDAD	101	-0.37	0.000
RADIACION	101	-0.27	0.005

### 5.3.4.2. FOSFATOS

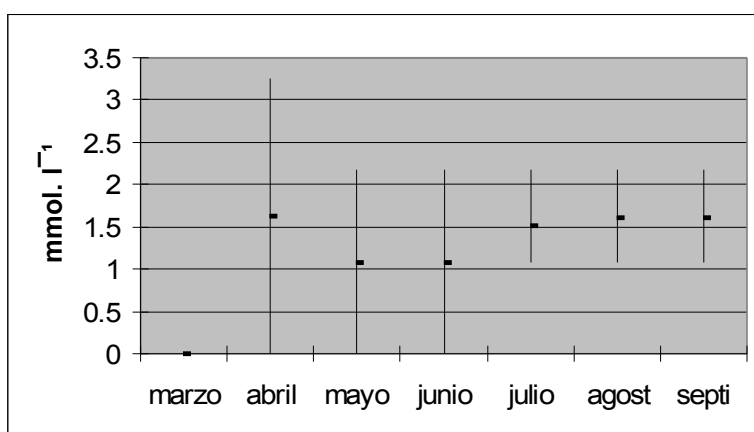


**Figura 19. Valores diarios de fosfatos encontrados en la parte media del río Tota**

El valor máximo de fosfato reportado en los siete muestreos fue de 2.52 mmol.l<sup>-1</sup>, este valor se alcanzó en los días 14 del mes de marzo y 14 de mes de abril, mientras que el valor mínimo fue de 0 mmol.l<sup>-1</sup> (Figura 19).

Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo, ni entre los períodos estacionales (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.871). El registro del valor medio de fosfato fue de 0.12 mmol l<sup>-1</sup>, presentando un coeficiente de variación de 843.07%. El fosfato no presentó correlación significativa con ninguna variable hidrológica, climática, química, ni física.

### 5.3.4.3. NITRITO



**Figura 20. Valores máximos, mínimos y medios de nitrato, encontrados en la parte media del río Tota**

El valor máximo de nitrito es de 3.26 mmol.l<sup>-1</sup>, registrado el día 14 del mes de abril, mientras que el valor mínimo fue de 0 mmol.l<sup>-1</sup> y se presentaron los días del 1 al 15 marzo, del 1 al 4 de abril, 12 de abril, 11 de mayo y el 5 de junio (Figura 20). A su vez se correlaciona significativamente con las variables hidrológicas, oxígeno disuelto, y precipitación (Tabla 16).

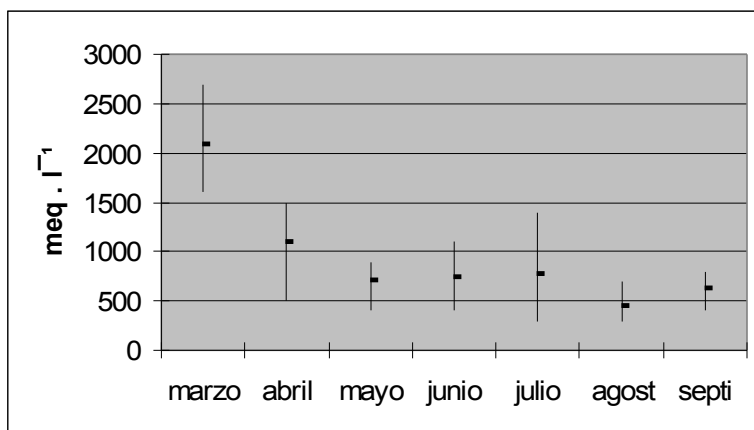
Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo, pero entre los meses se observa una variabilidad significativa (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.000).

El valor medio de nitrito para los siete muestreos fue de 1.08 mmol.l<sup>-1</sup>, presentando un coeficiente de variación de 68.12%.

**Tabla 16. Valores de correlación de Pearson, de nitrito presentadas entre los meses de estudio.**

VARIABLE	n	r	p
AMPLITUD DEL CAUCE	101	0.33	0.000
CAUDAL	101	0.23	0.019
PROFUNDIDAD	101	0.29	0.002
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	0.22	0.020
OXIGENO DISUELTO	101	0.35	0.000
PRECIPITACION	101	0.31	0.001

#### **5.3.4.4.CARBONATO**



**Figura 21. Valores máximos, mínimos y medios de carbonato, encontrados en la parte media del río Tota.**

El valor máximo de carbonato es de 2700 meq.l<sup>-1</sup>, registrado el día 15 del mes de marzo, mientras que el valor mínimo fue de 300 meq.l<sup>-1</sup> y se presentó el día 9 de julio (Figura 21).

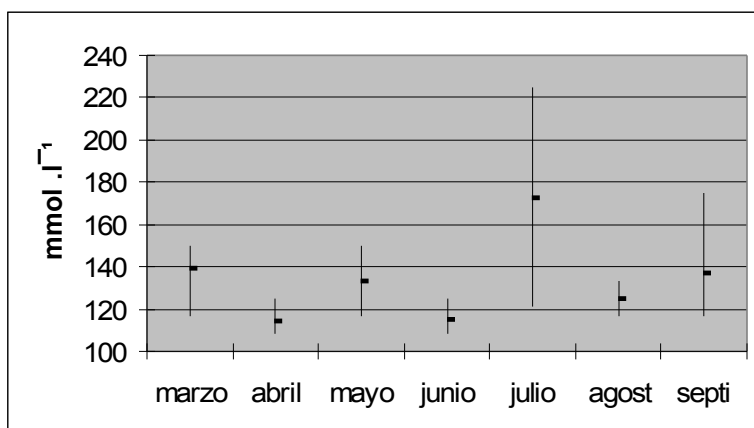
Se evidencia que no hay variabilidad significativa entre los días de muestreo, pero entre los períodos estacionales se observa una variabilidad significativa ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ).

El carbonato presenta correlación positiva con la conductividad, alcalinidad, radiación ultravioleta y temperatura, y negativa con las variables hidrológicas y oxígeno disuelto (Tabla 17). El valor medio para los siete muestreos fue de 909.52 meq.l<sup>-1</sup>, y tiene un coeficiente de variación de 62.98%.

**Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson, de carbonato registradas entre el período de muestreo.**

VARIABLE	n	r	p
CONDUCTIVIDAD	101	0.78	0.000
ALCALINIDAD	101	0.68	0.000
RADIACION	101	0.29	0.003
TEMPERATURA	101	0.42	0.000
AMPLITUD DEL CAUCE	101	-0.82	0.000
CAUDAL	101	-0.24	0.012
PROFUNDIDAD	101	-0.69	0.000
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	-0.29	0.002
OXIGENO DISUELTO	101	-0.24	0.013

### 5.3.4.5. SÍLICE



**Figura 22. Valores máximos, mínimos y medios de sílice, encontrados en la parte media del río Tota.**

El máximo valor de sílice fue de 224.66 mmol.l<sup>-1</sup>, el cual se registro los primeros cuatro días del mes de julio, mientras que el valor mínimo fue de 108.17 mmol.l<sup>-1</sup>, y se presentó los días 1, 2, 3, y 4 de los muestreos realizados en abril y en junio (Figura 22). La media encontrada para el sílice, en los siete muestreos fue de 131.26 mmol.l<sup>-1</sup>, con un coeficiente de variación de 10.49 %.

El sílice se correlaciona con la alcalinidad y temperatura, sin embargo con las variables hidrológicas se encuentra correlacionado negativamente (Tabla 18). No hay variabilidad significativa entre los días de muestreo (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.778), ni entre períodos estacionales (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.286).

**Tabla 18. Valores de correlación de Pearson, de sílice obtenidas entre los meses de muestreo.**

VARIABLE	n	r	p
ALCALINIDAD	101	0.48	0.000
TEMPERATURA	101	0.29	0.003
AMPLITUD DEL CAUCE	101	-0.51	0.000
PROFUNDIDAD	101	-0.24	0.014
VELOCIDAD DE CORRIENTE	101	-0.2	0.036

Los valores medios, máximos, mínimos, mediana y desviación estándar de los cationes minoritarios registradas en todos los períodos de estudio se registran en la Tabla 19.

**Tabla 19. Resumen de la estadística descriptiva de los cationes minoritarios registradas en todos los períodos de estudio.**

VARIABLE	MAXIMO	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTANDAR
AMONIO	277.18	138.32	0	166.31	79.57
FOSFATO	10.52	0.12	0	0	1.05
NITRITO	3.26	1.08	0	1.08	0.73
CARBONATO	2700	909.52	300	700	572.86
SILICE	224.66	131.26	108.17	126.75	13.78

#### **5.4. ASPECTOS GENERALES DE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS**

##### **5.4.1. COMPOSICIÓN DE ALGAS PERIFÍTICAS EN LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.**

En el transcurso de los siete muestreos realizados, se registró un total de 49 especies de algas perifíticas, de las cuales 39 especies corresponden al grupo de las Bacillariophyceae (diatomeas), 6 especies a Chlorophyceae, 3 especies pertenecen a Cyanophyceae y 1 especie a Euglenophyceae.

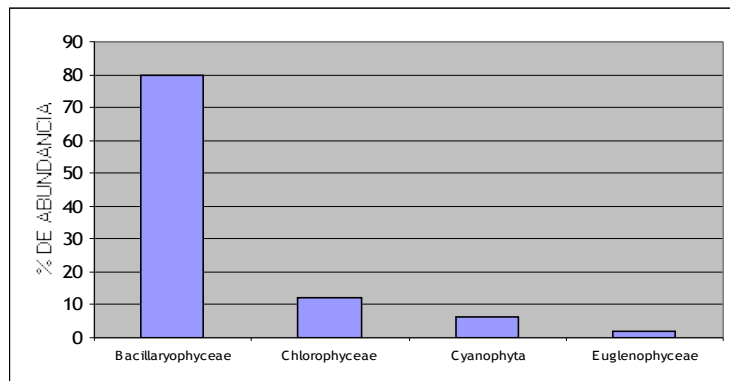
El grupo dominante durante todo el período de estudio fueron las Bacillariophyceae, que exceden el 79 % del total de especies perifíticas (Figura

23), donde las especies más comunes fueron *Cocconeis placentula*, *Fragilaria ulna*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Navicula viridula*, *Cymbella sinuata*, y *Gomphomena acuminatum* (Tabla 21).

Las especies de Chlorophyceae, encontradas fueron, *Closterium* sp1, *Closterium* sp 2, *Cosmarium* sp1, *Cosmarium* sp2, *Cosmarium* sp3, y *Staurastrum longipes*, con una abundancia del 12.24 % (Figura 23).

Las Cyanophyta, estuvieron representadas por las especies *Lyngbya* sp., *Spirulina* sp., y Cyanophyceae (género sin determinar), las cuales estuvieron presentes en todos los muestreos, con solamente un 6.12% del total de especies perifíticas (Figura 23).

Por último, se encuentran las Euglenophyceae, con un 2.04 % de abundancia (Figura 23), la cual está representada por *Euglena* sp.

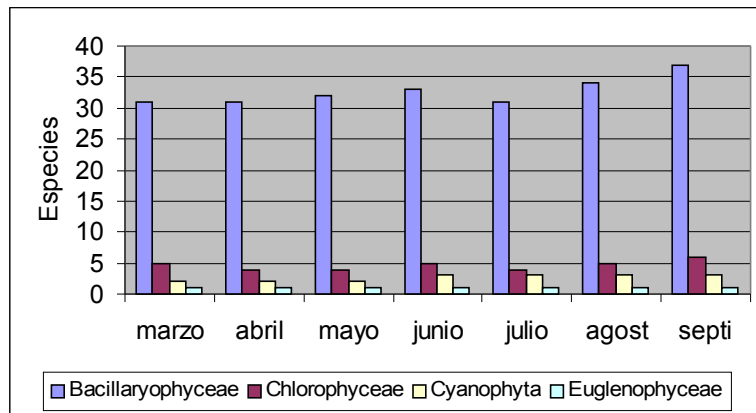


**Figura 23. Porcentaje de abundancia de las algas perifíticas encontradas en la parte media del río Tota.**

### **5.4.2. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE ALGAS DEL PERIFÍTON**

El grupo más abundante, en todos los meses de estudio fueron las Bacillariophyceae, con un valor máximo de 47 especies, el cual se evidencia claramente en el mes de septiembre, mientras que los valores mínimos se presentan en los meses de abril y julio con 39 especies cada uno (Figura 24).

Cabe anotar que se registraron diferencias significativas mensuales en las abundancias de las especies ( $n=45$ ,  $\alpha= 0.05$ ,  $p=0.000$ ).



**Figura 24. Valores de abundancia de las algas perifíticas encontradas en la parte media del río Tota.**

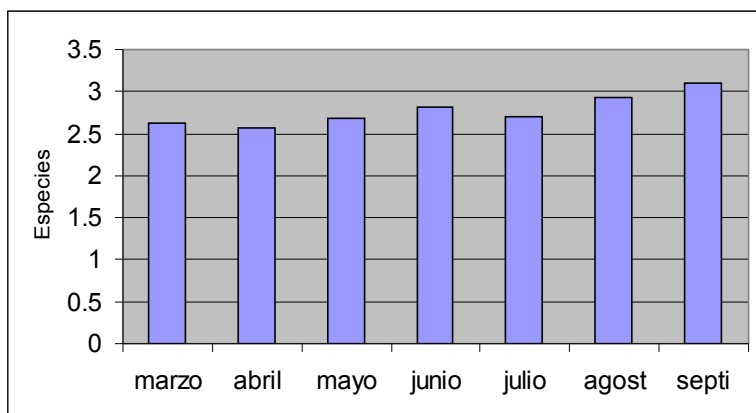
La tabla 20, presenta los valores de abundancia en individuos.cm<sup>-2</sup> para todos los muestreos realizados. Se observa que las especies con más de 6000 ind.cm<sup>-2</sup> fueron *Fragilaria ulna* y *Rhoicosphenia abbreviata*, presente en todos los días de los muestreos, y *Cocconeis placentula* con registros de abundancia en los primeros días del primer muestreo y en los últimos días del segundo muestreo.

#### **5.4.3. DINÁMICA DIARIA Y MENSUAL DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON**

A nivel mensual, las variables biológicas medidas como el número de especies, porcentajes de abundancia, índices de diversidad e índices de riqueza de especies, presentaron diferencias significativas, al igual que las variables hidrológicas, climáticas, físicas y químicas.

##### **5.4.3.1. RIQUEZA DE ESPECIES DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON**

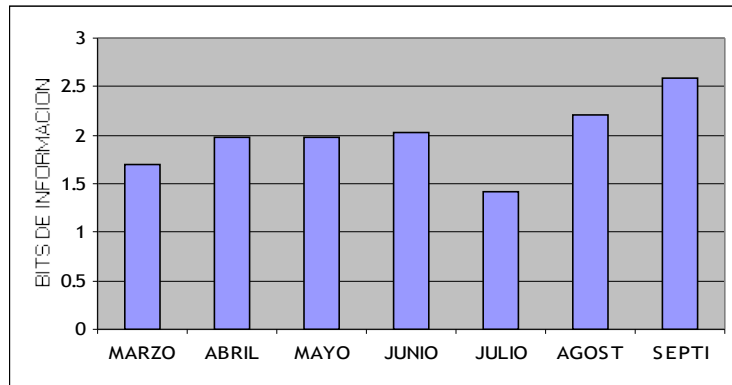
En cuanto, al índice de Riqueza de Margalef, se observó que el mes de septiembre, posee el valor más alto (3.11), mientras que el valor más bajo, 2.57, se presentó en el mes de abril (Figura 25). En general todos los meses presentan valores semejantes.



**Figura 25. Valores del índice de riqueza de especies de algas perifíticas de la parte media del río Tota.**

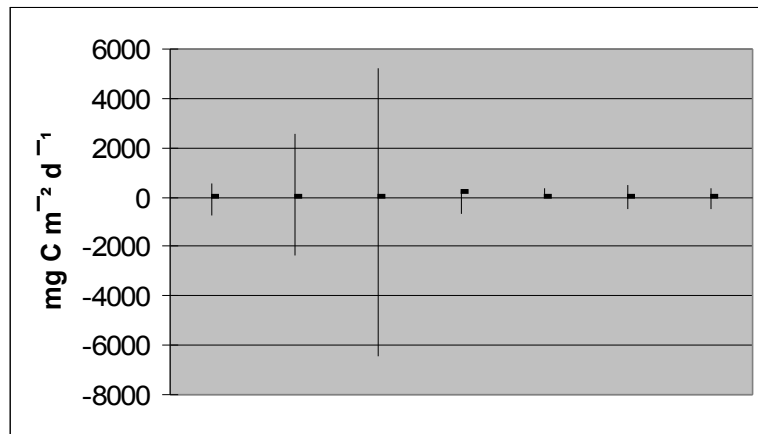
#### **5.4.3.2. CAMBIOS MENSUALES DE LA DIVERSIDAD DE ESPECIES DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON**

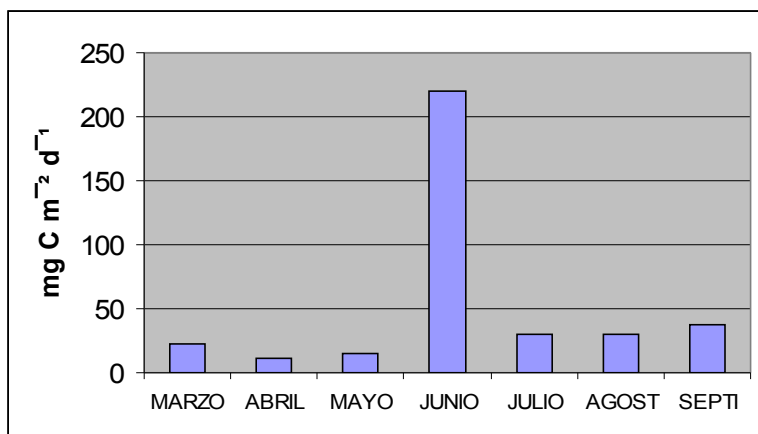
El número máximo de especies encontradas fue de 47 y se presentó en el mes de septiembre, que coincide con el mes que con un índice de diversidad más alto (2.58), mientras el número mínimo de especies se registró en el mes de julio con 39 y coincide con el menor índice de diversidad (1.97). Este último registro corresponde a la época de estudio que presentó los valores más altos en cuanto a la abundancia de las variables biológicas (Figura 26).



**Figura 26. Valores de diversidad de especies de algas perifíticas de la parte media del río Tota, para el período de estudio.**

### **5.5. DINÁMICA DIARIA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFÍTON DEL RIO TOTA**





**Figura 27. Valores mínimos, máximos y promedios de productividad de la comunidad perifítica del río Tota, para los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre.**

El valor máximo de la productividad de la comunidad perifítica es de 5200 mg.C.m<sup>-2</sup>. d<sup>-1</sup>, registrado el mes de mayo. No obstante, en todos los meses de estudio se presentaron valores negativos y el valor más bajo que se presentó fue de -6450 mg.C.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, el cual se registró en mismo mes (Figura 27). El valor medio de la productividad perifítica para los períodos de estudio fue de 52 mg.C.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, con un coeficiente de variación de 79.80%. Sin embargo, el promedio más alto se registró en junio con 220 mg.C.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (Figura 27).

La variación de los valores de productividad perifítica entre los meses de estudio fueron significativas (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.016), pero la variación diaria no presentó diferencias importantes (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.837). Sin embargo, los registros están no están correlacionados con ninguna variable.

### 5.5.1.DENSIDAD DE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS DEL RIO TOTA

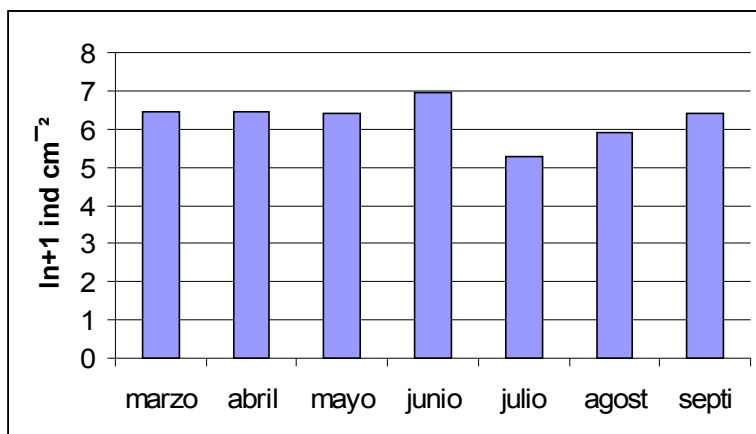


Figura 27. Valores mensuales de densidad perifítica en escala logarítmica para el río Tota.

El valor máximo de densidad de la comunidad de algas perifíticas se presentó en el mes de junio con  $2974562 \text{ ind cm}^{-2}$ , mientras que los valores más bajos se registraron en el mes de julio con  $2330933 \text{ ind cm}^{-2}$ . El valor promedio de la densidad celular para todos los períodos de estudio fue de  $2159170 \text{ ind cm}^{-2}$ , con un coeficiente de variación de 64.37%. Los valores registraron variaciones significativas entre los meses ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.032$ ), pero no entre días ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.641$ ).

La densidad perifítica está correlacionada negativamente con el caudal, la profundidad y la velocidad de corriente del agua, pero a su vez se encuentra correlacionado positivamente con la temperatura (Tabla 21).

**Tabla 21. Coeficientes de correlación de Pearson, de la densidad perifítica registrada entre los meses de estudio.**

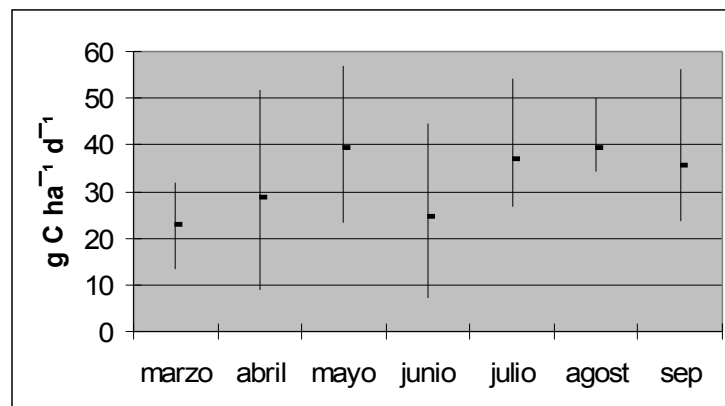
VARIABLE	n	r	p
Caudal	101	-0.45	0.0000
Profundidad	101	-0.30	0.0018
Temperatura	101	0.20	0.0320
Velocidad de la corriente	101	-0.42	0.0000

## 5.6. MATERIA ORGÁNICA

La zona de estudio está caracterizada por las especies *Alnus acuminata* y *Salix humboldtiana*, ubicadas principalmente en la ribera del río, donde el arbolado ripario es dominada por la especie *Alnus acuminata*.

### 5.6.1. APORTES DE MATERIA ORGANICA GRUESA DE *Alnus acuminata*, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.

#### 5.6.1.1. HOJAS DE *Alnus acuminata*

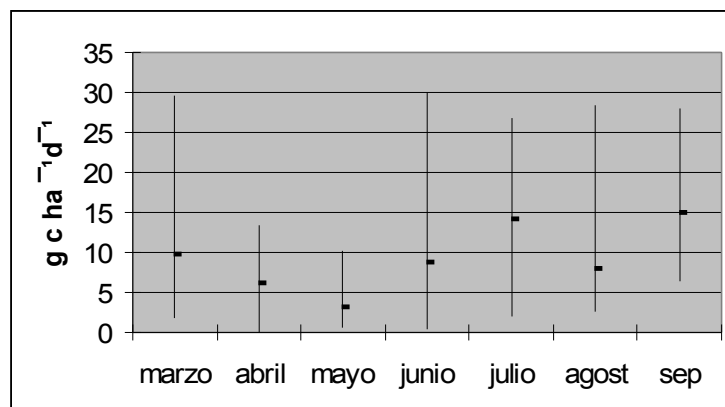


**Figura 28. Valores mínimos, máximos, y medios de aportes de materia orgánica gruesa como hojas de *Alnus acuminata*, a la cuenca de drenaje del río Tota.**

Los máximos valores de aportes de materia orgánica gruesa en hojas de *Alnus acuminata*, se registraron los meses de mayo y septiembre con 56.92 y 56.08 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que los valores mínimos se presentaron en junio con 7.20 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (Figura 28).

Las diferencias entre los valores de aportes de materia orgánica gruesa, representadas en hojas de *Alnus acuminata*, fueron significativos a nivel estacional (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.000), pero a nivel diario no fueron significativos (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.753), y no presentaron correlación importante con otras variables.

#### **5.6.1.2. RAMAS DE *Alnus acuminata***

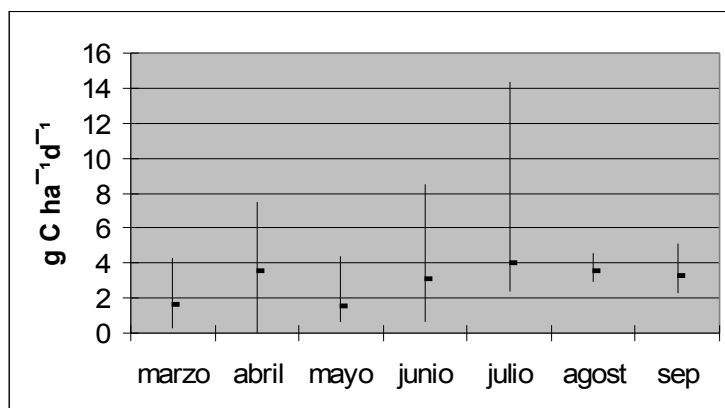


**Figura 29. Valores mínimos, máximos, y medios de aportes de materia orgánica gruesa en ramas de *Alnus acuminata* a la cuenca de drenaje del río Tota.**

Los valores más altos de aportes de materia orgánica gruesa en ramas de *Alnus acuminata*, se registraron en los meses de marzo y junio con 29.55 y 30.08 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que los valores mínimos se presentaron en abril con 0 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (Figura 29), a la vez no presentaron correlación con otras variables.

Las diferencias entre los valores de aportes de materia orgánica gruesa, como ramas de *Alnus acuminata*, fueron significativos a nivel estacional (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.000), pero a nivel diario no fueron significativos (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.917).

### 5.6.1.3. INFLORESCENCIAS DE *Alnus acuminata*



**Figura 30. Valores mínimos, máximos, y medios de aportes de materia orgánica gruesa inflorescencias de *Alnus acuminata*, a la cuenca de drenaje del río Tota.**

El máximo valor de aportes de materia orgánica gruesa en inflorescencias de *Alnus acuminata*, se registró el mes de julio con  $14.39 \text{ g.C.ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , mientras que los valores mínimos se presentaron en los meses de marzo, mayo y junio con valores de  $0.23, 0.66$  y  $0.66 \text{ g.C.ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , respectivamente (Figura 30).

Las diferencias entre los valores de aportes de materia orgánica gruesa, como inflorescencias de *Alnus acuminata*, fueron significativos a nivel estacional ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.000$ ), pero a nivel diario no fueron significativos ( $n=104$ ;  $\alpha=0.05$ ;  $p=0.724$ ), y no presentaron ninguna correlación con otras variables.

Otros datos de aportes de materia orgánica gruesa de *Alnus acuminata*, se consignan en la tabla 22.

**Tabla 22. Valores medios, máximos, mínimos de aportes de materia orgánica gruesa de *Alnus acuminata*, registradas en todos los períodos de estudio.**

VARIABLE	MÁXIMO	MEDIA	MÍNIMO
HOJAS	56.92	32.57	7.2
RAMAS	30.08	9.29	0
INFLORESCENCIAS	14.39	2.97	0

## 5.6.2. APORTES DE MATERIA ORGANICA GRUESA DE *Salix humboldtiana*, A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.

### 5.6.2.1. HOJAS DE *Salix humboldtiana*

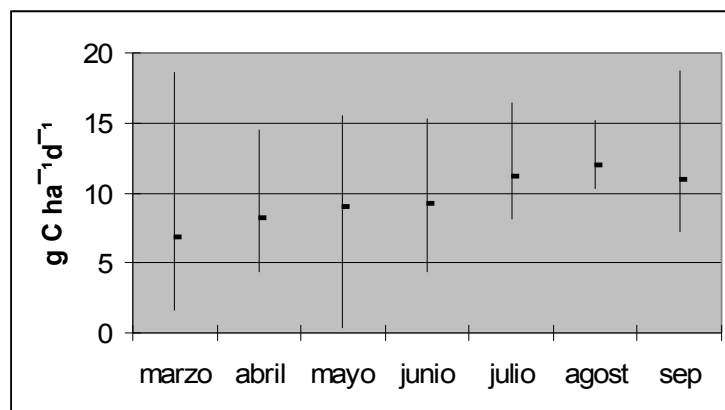


Figura 31. Valores mínimos, máximos, y medios de aportes de materia orgánica gruesa, como hojas de *Salix humboldtiana*, a la cuenca de drenaje del río Tota.

Los máximos valores de aportes de materia orgánica gruesa, en hojas de *Salix humboldtiana*, se registraron los meses de marzo y septiembre con 18.61 y 18.69 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el valor mínimo se presentó en el mes de mayo con 0.40 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (Figura 31).

Estos aportes de materia orgánica se correlacionan solamente con la precipitación (Tabla 23).

Las diferencias entre los valores de aportes de materia orgánica gruesa, hojas de *salix humboldtiana*, fueron significativos a nivel estacional (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.000), pero a nivel diario no fueron significativos (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.727).

#### 5.6.2.2. RAMAS DE *Salix humboldtiana*.

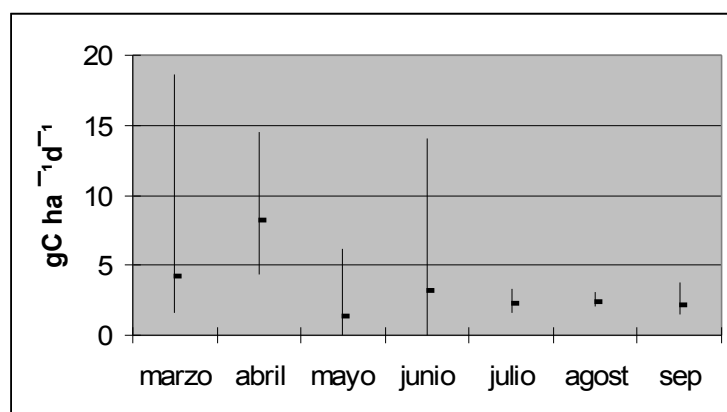


Figura 32. Valores mínimos, máximos, y medios de aportes de materia orgánica gruesa, ramas de *Salix humboldtiana*, a la cuenca de drenaje del río Tota.

Los máximos valores de aportes de materia orgánica gruesa, en ramas de *Salix humboldtiana*, se registraron los meses de marzo, abril y junio con 19.41, 14.42 y 14.03 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que los valores mínimos se presentaron en mayo y junio con 0 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (Figura 32).

Las diferencias entre los valores de aportes de materia orgánica gruesa, como ramas de *Salix humboldtiana*, fueron significativos a nivel estacional (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.001), pero a nivel diario no fueron significativos (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.261). Sin embargo, está correlacionada con las lluvias (Tabla 23).

### 5.6.2.3. INFLORESCENCIAS DE *Salix humboldtiana*.

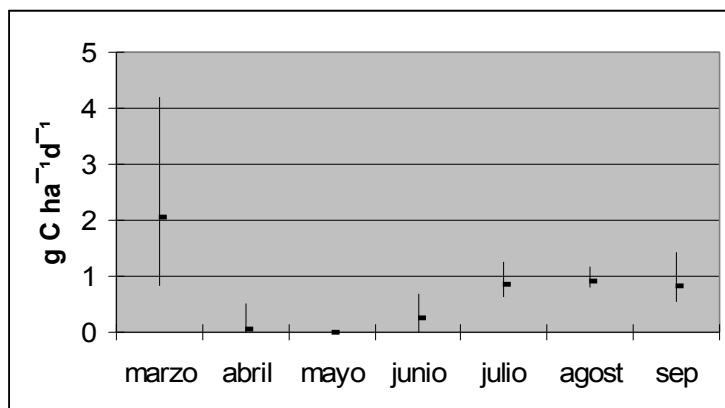


Figura 33. Valores mínimos, máximos, y medios de aportes de materia orgánica gruesa representada en inflorescencias de *Salix humboldtiana*, al río Tota.

El valor máximo de aportes de materia orgánica gruesa, en inflorescencias de *Salix humboldtiana*, se presentó el mes de marzo con 4.23 g.C.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (Figura 33), en el mes de mayo no se registraron aportes.

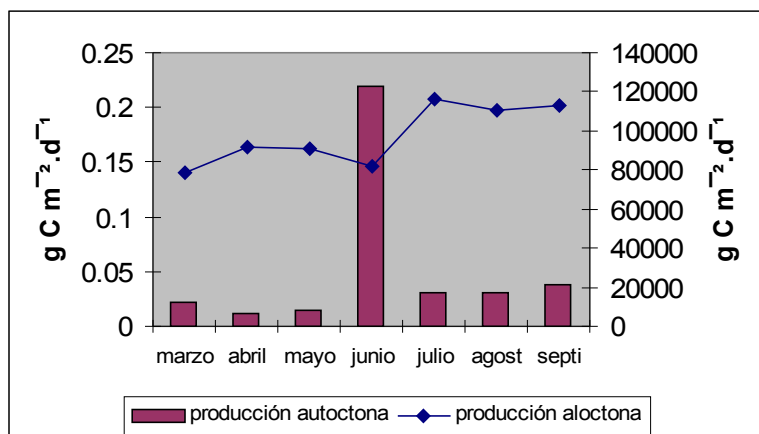
Los aportes de materia orgánica gruesa como inflorescencias de *Salix humboldtiana*, fueron significativos a nivel estacional (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.000), pero a nivel diario no fueron significativos (n=104;  $\alpha=0.05$ ; p=0.948), y presentaron una correlación estadísticamente importante con las lluvias.

Los valores medios, máximos, mínimos, de aportes de materia orgánica gruesa de *Salix humboldtiana*, medidas en todos los períodos de estudio se presentan en la tabla 23.

**Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson, máximos, mínimos y medios de los aportes de materia orgánica gruesa de *Salix humboldtiana* encontradas en los meses de estudio.**

VARIABLE	APORTES			CORRELACIONES		
	MÁXIMO	MEDIA	MÍNIMO	n	r	p
HOJAS	18.69	9.63	0.4	101	0.44	0.012
RAMAS	18.61	3.4	0	101	0.27	0.05
INFLORESC.	4.2	0.71	0	101	0.25	0.03

### **5.6.3. RELACIONES ENTRE LA PRODUCCIÓN AUTÓCTONA Y ALÓCTONA DEL RÍO TOTA.**



**Figura 34. Valores promedio de producción autóctona y alóctona del río Tota.**

El valor máximo de la producción autóctona se registró el mes de junio con 0.22 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, mientras que la producción alóctona presentó para este período valores bajos (82100 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). Para el mes de julio sucede el caso contrario, ya que la producción alóctona registró los valores más altos en relación a los otros meses de estudio, para este caso el valor reportado fue de 116000 g C ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, mientras que se presentaron los menores valores de la productividad perifítica, 0.030 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

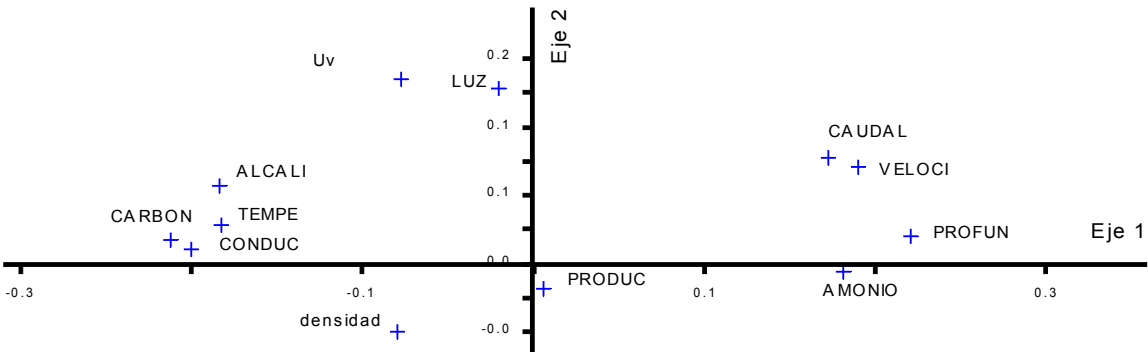
## **5.7. ORDENACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS QUÍMICAS HIDROLÓGICAS Y BIOLÓGICAS.**

### **5.7.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES, PRODUCTIVIDAD Y DENSIDAD ALGAL.**

El análisis de componentes principales se utilizó para establecer patrones temporales en el comportamiento de las variables ambientales y su relación con la productividad perifítica y la densidad algal.

El modelo explica un 74% de la varianza de los datos (Tabla 24), el primer eje se encuentra asociado a la hidrología del río y está explicado por la velocidad de corriente del agua, el caudal y la profundidad.

El segundo eje esta asociado a la radiación incidente y está explicado por la luz y radiación ultravioleta.



**Figura 35. Representación de los dos primeros ejes del Análisis de componentes principales de acuerdo a los parámetros físico-químicos e hidrológicos productividad y densidad.**

**Tabla 24. Valores de varianza para los dos primeros ejes .**

EJE	EIGENVALUE	%VARIANZA	ACUM % DE VARIANZA
1	5.62	46.85	46.85
2	1.87	15.59	65.63
3	1.39	11.64	74.09

La figura 35, muestra la distribución de las variables en el espacio formado por los dos primeros ejes, donde con el primer eje (46.85% de varianza) está asociadas con la conductividad, temperatura, alcalinidad, carbonatos, amonio, profundidad, caudal, velocidad de la corriente del agua y densidad, mientras que al segundo eje (Tabla 24) se asocian la luz, radiación ultravioleta.

Se observa también que la densidad algal está relacionada inversamente con las variables hidrológicas, mientras que la productividad no se relaciona con ningún eje. Este comportamiento coincide con las correlaciones encontradas previamente (Tabla 25).

**Tabla 25. Correlación de Pearson entre las variables ambientales y la productividad y densidad algal con los ejes de ordenación del Análisis de Componentes Principales.**

VARIABLE	EJE 1	EJE 2
	r	r
CONDUCTIVIDAD	-0.84	0.62
TEMPERATURA	-0.77	0.17
RADIACION UV.	-0.32	0.8
LUZ	-0.08	0.85
VELOCIDAD	0.8	0.41
CAUDAL	0.73	0.45
PROFUNDIDAD	0.94	0.12
AMONIO	0.77	-0.03
CARBONATOS	-0.89	0.1
PRODUCTIVIDAD	0.26	-0.1
ALCALINIDAD	-0.77	0.34
DENSIDAD	-0.33	-0.29

La ordenación de las muestras diarias y temporales mediante los componentes principales se representan en la figura 36, donde se distingue un gradiente

orientado sobre el primer eje, donde las muestras de la derecha están asociadas a valores altos de caudal, velocidad de la corriente del agua, profundidad, de igual manera se observa que los valores de conductividad, temperatura, alcalinidad y carbonatos fueron mínimos.

Las de la izquierda están asociadas a altos valores de conductividad, alcalinidad y temperatura, y bajos en relación a las características hidrológicas. Bajo estas condiciones responden los miembros de los muestreos marzo y abril.

**Figura 36. Correlaciones entre las variables físicas, químicas, biológicas e hidrológicas con los componentes principales, M1= primer muestreo (marzo), M2= segundo muestreo (abril), M3= tercer muestreo (mayo), M4= cuarto muestreo (junio), M5= quinto muestreo (julio), M6= sexto muestreo (agosto), M7= séptimo muestreo (septiembre), los otros números corresponden a los días de cada muestreo.**

### **5.7.2 ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA DE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS.**

Para establecer los patrones temporales de la comunidad de algas perifíticas se utilizó el Análisis de Correspondencia, donde la distribución del perifiton presenta 3 agrupaciones, las cuales se presentan en la figura 37, mientras que la agrupaciones de los muestreos se encuentran en la figura 38.

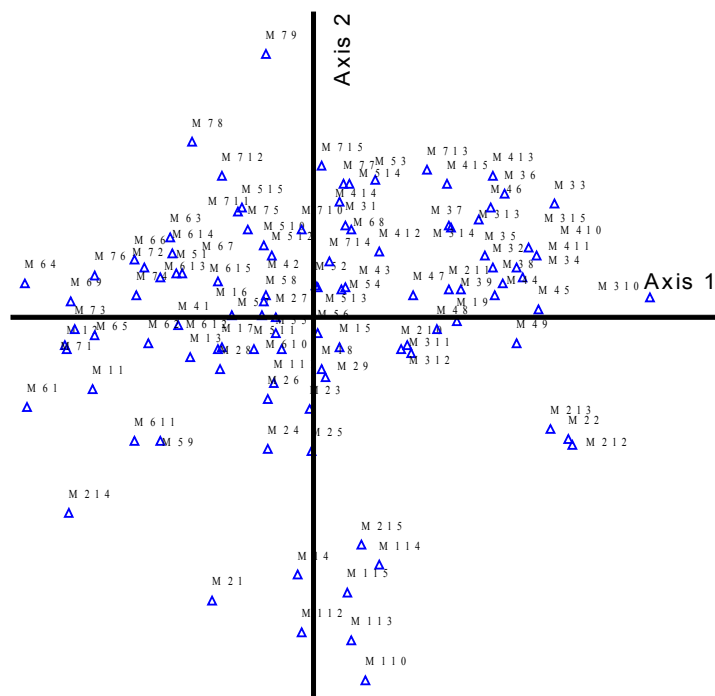


**Figura 37. Análisis de Correspondencia de la comunidad de algas perifíticas.**

El primer grupo comprende las siguientes especies *Pinnularia interrupta*, *Pinnularia ruestris*, *Epithemia zebra*, *Rhopalodia gibberula*, *Eunotia sp.*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema augur*, *Gomphonema minutum*, *Gomphonema olivaceum var calcareum*, *Cymbella amphicephala*, *Cymbella minuta*, *Cymbella silesiaca*, *Navicula cryptocephala*, *Fragilaria capucina var rumpens*, *Fragilaria capensis*, *Melosira varians*, y por Chlorophyceae como *Cosmarium sp 1*, *Navicula viridula*, *Navicula rhynchocephala*, *Gomphonema acuminatum*, *Navicula lanceolata*, *Frustulia sp.*, *Staurastrum longipes*, *Fragilaria capucina var perminuta*, *Fragilaria capucina var vaucheriae*, *Fragilaria arcus*, *Pinnularia intermedia*, *Hantzchia sp*, *Frustulia vulgaris*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema clavatum*, *Cymbella sinuata*, *Eunotia sp.*, *Navicula slesvicensis*, *Gomphonema gracile*, *Fragilaria arcus*, *Fragilaria capensis*, *Fragilaria ulna*, *Nitzschia sp*, estas especies aparecen en casi todos los muestreos.

El segundo grupo esta representado por las especies, *Gyrosigma acuminatum* y *Cocconeis placentula*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Euglena sp.*, las cuales presentan un patrón temporal, es decir están asociadas a los muestreos realizados en marzo y abril.

En el tercer grupo, se evidencia la presencia de *Cyanophyceae* (especie sin confirmar), *Lyngbya sp*, *Closterium sp*<sub>2</sub>, *Gomphonema clavatum*, y *Cosmarium sp*<sub>2</sub> *Spirulina sp.*, *Cosmarium sp*<sub>3</sub>, *Closterium sp*<sub>1</sub>, este grupo se asocia a los muestreos 5, 6 y 7, realizados en julio, agosto y septiembre.



**Figura 38.** Análisis de correspondencia, M1= primer muestreo (marzo), M2= segundo muestreo (abril), M3= tercer muestreo (mayo), M4= cuarto muestreo (junio), M5= quinto muestreo (julio), M6= sexto muestreo (agosto), M7= séptimo muestreo (septiembre), los otros números corresponden a los días de cada muestreo.

### 5.7.3 RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES Y LA COMUNIDAD (ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA).



Las variables se distribuyen sobre los ejes y se ubican sobre los cuatro cuadrantes (Figura 39). En el primero se encuentran la velocidad de corriente, profundidad y el caudal, en el segundo cuadrante está el amonio y pH, en el tercer cuadrante se ubica la alcalinidad, temperatura y carbonatos, mientras que en el último cuadrante se encuentra la conductividad.

**Tabla 26. Correlaciones entre las variables ambientales, físicas, químicas e hidrológicas con los dos ejes principales de ordenación del Análisis de Correspondencia Canónico.**

VARIABLE	EJE 1	EJE 2
	r	r
CONDUCTIVIDAD	-0.63	-0.02
TEMPERATURA	-0.54	-0.39
OXIGENO	-0.35	-0.20
LUZ	-0.11	0.45
VELOCIDAD	0.27	0.55
CAUDAL	0.18	0.48
PROFUNDIDAD	0.61	0.28
AMONIO	0.71	0.39
CARBONATOS	-0.78	-0.12
PRECIPITACIÓN	-0.13	-0.16
ALCALINIDAD	-0.81	-0.12
PH	0.11	-0.50

Sin embargo las especies se encuentran agrupadas en tres conjuntos principales (Figura 40).

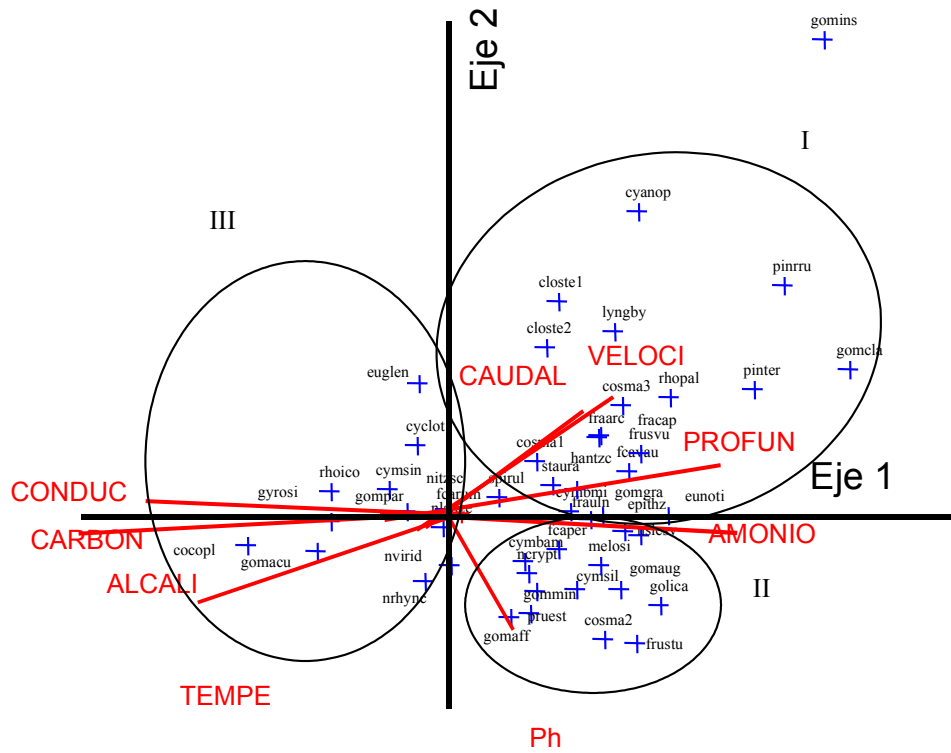


Figura 40. ACC de las especies de algas perifíticas de acuerdo a las variables físicas, químicas e hidrológicas del río Tota.

- |  |   |
|--|---|
| <i>Cymbella amphicepala</i> = cymbam                     | <i>Gomphonema gracile</i> =gomgra       |
| <i>Cymbella minuta</i> =cymbmi                           | <i>Gomphonema insigne</i> =gomins       |
| <i>Cymbella silesiaca</i> =cymsil                        | <i>Gomphonema minutum</i> =gommin       |
| <i>Cymbella sinuata</i> =cymsin                          | <i>Gomphonema olivaceum</i> var         |
| <i>Cocconeis placentula</i> =cocopl                      | <i>calcareum</i> =golica                |
| <i>Eunotia</i> sp.=eunoti                                | <i>Gomphonema parvulum</i> =gompar      |
| <i>Ephithemia zebra</i> =ephithz                         | <i>Gyrosima accuminatum</i> =gyrosi     |
| <i>Fragilaria arcus</i> =fraarc                          | <i>Hantzchia</i> sp.=hantzs             |
| <i>Fragilaria capensis</i> =fracap                       | <i>Melosira varians</i> =melosi         |
| <i>Fragilaria capucina</i> var <i>vaucheriae</i> =fcavau | <i>Navicula lanceolata</i> =nlanceo     |
| <i>Fragilaria capucina</i> var <i>perminuta</i> =fcaper  | <i>Navicula cryptocephala</i> =ncrypt   |
| <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i> =fcarum   | <i>Navicula slesvicensis</i> =nslesv    |
| <i>Fragilaria ulna</i> =frauln                           | <i>Navicula rhychocephala</i> =nrhync   |
| <i>Frustulia vulgaris</i> =frusvu                        | <i>Navicula viridula</i> =nvirid        |
| <i>Frustulia</i> sp.=frusp                               | <i>Nitzschia</i> sp.=nitzsc             |
| <i>Gomphonema accuminatum</i> =gomacu                    | <i>Pinnularia ruestris</i> =pruest      |
| <i>Gomphonema affine</i> =gomaff                         | <i>Pinnularia interrupta</i> =pinrru    |
| <i>Gomphonema augur</i> =gomaug                          | <i>Pinnularia intermedia</i> =pinter    |
| <i>Gomphonema clavatum</i> =gomcla                       | <i>Rhoicosphenia abbreviata</i> =rhoico |

Cyanophyceae=cyanop  
Cosmarium sp<sub>1</sub>=cosma1  
Cosmarium sp<sub>2</sub>=cosma2  
Cosmarium sp<sub>3</sub>=cosma3  
Closterium sp<sub>1</sub>=closte1  
Closterium sp<sub>2</sub>=closte2

Lyngbya sp.=lyngby  
Spirulina sp.=spirul  
Euglena sp.=euglen  
Staurastrum longipes=staura  
Rhopalodia gibberula=rhopal  
Cyclotella sp.=cyclot

El primer grupo está conformado por *Lyngbya sp*, *Staurastrum longipes*, *Spirulina sp.*, *Cosmarium sp<sub>3</sub>*, *Cosmarium sp<sub>1</sub>*, *Closterium sp<sub>1</sub>*, *Closterium sp<sub>2</sub>*, *Fragilaria capucina var perminuta*, *Fragilaria capucina var vaucheriae*, *Fragilaria arcus*, *Pinnularia interrupta*, *Pinnularia intermedia*, *Epithemia zebra*, *Rhopalodia gibberula*, *Fragilaria ulna*, *Hantzchia sp*, *Fragilaria capucina var vaucheriae*, *Fragilaria arcus*, *Fragilaria capensis*, *Frustulia vulgaris*, *Fragilaria capucina var rumpens*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema clavatum*, , *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema clavatum*, *Cymbella sinuata*, *Cymbella minuta*, estas especies se relacionan con los muestreos 5, 6 y 7, realizados en julio, agosto y septiembre, los cuales registran valores altos de caudal, profundidad y velocidad de la corriente del agua, pero mínimos de carbonato, temperatura, conductividad y alcalinidad.

El segundo grupo esta compuesto por, *Fragilaria capucina var perminuta*, *Navicula slesvicensis*, *Melosira varians*, *Cymbella amphicephala*, *Navicula cryptocephala*, *Cymbella silesiaca*, *Gomphonema augur*, *Gomphonema olivaceum var calcareum*, *Cosmarium sp<sub>2</sub>*, *Gomphonema minutum*, *Pinnularia ruestris*, *Gomphonema affine*, *Frustulia sp.*, y están asociados al muestreo 3 y 4, realizados

en mayo y junio, los cuales poseen valores altos de amonio y pH, mientras que intermedios de caudal, velocidad de la corriente del agua, y profundidad.

El tercer grupo, presenta especies como *Euglena sp.*, *Cyclotella sp.*, *Nitzschia sp.*, *Cymbella sinuata*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Gomphonema parvulum*, *Gyrosigma acuminatum*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema acuminatum*, *Navicula viridula*, *Navicula rhynchocephala*, y se encontraron en los muestreos 1 y 2, realizados en marzo y abril, estos se relacionan con valores altos de conductividad, carbonatos, alcalinidad temperatura, mientras que los factores hidrológicos fueron bajos.

## **6. DISCUSIÓN**

### **6.1. DINÁMICA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS E HIDROLÓGICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.**

#### **6.1.1. CLIMA**

Para este trabajo se presentaron tendencias climáticas diferentes, definiendo entonces los períodos de lluvias en los meses de abril, mayo, julio, agosto.

El primer período de lluvias ocasionales ocurrió en abril y mayo, mientras que las lluvias frecuentes se presentaron en julio y agosto y los períodos de menor precipitación ocurrieron en marzo y junio (Figura 6).

#### **6.1.2. HIDROLOGÍA**

Los factores hidrológicos varían de acuerdo a las lluvias en la cabecera del río, lo cual genera aumentos en el caudal, la velocidad de la corriente del agua, amplitud del cauce y profundidad, por consecuente se observaron diferencias significativas entre los meses de estudio.

Por lo tanto, el ACP realizado en este trabajo, define los períodos hidrológicos y la época de aguas altas corresponde a los meses de julio y agosto, debido al

aumento en el caudal, la velocidad de la corriente del agua, amplitud del cauce y profundidad, mientras que el período de caudales bajos ocurre en marzo (Figuras 7, 8, 9 y 10).

El rango de flujo para la zona de estudio, está comprendido entre  $0.01$  y  $16.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , sin embargo estos valores son relativamente bajos si se comparan con algunos ríos norteamericanos donde el flujo supera los  $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Allan, 1995), pero a su vez los valores del río Tota son más altos que los valores reportados por Biggs, *et al.*, (1989) para un río Alpino, donde registra valores entre  $0.1$  y  $15.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , estas diferencias surgen debido a que las condiciones ambientales, climáticas e hidrológicas no corresponden a la zona tropical.

Pero los valores de flujo reportados en este trabajo y comparados con los valores de  $0.07$ - $4.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  registrados por Martínez (2000) para el río Tota, son altos debido a que en el mes de julio donde se registraron los máximos valores de flujo de  $16.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Figura 8) se presentó un máximo de lluvias de  $25.2 \text{ mm}$ , el cual no registró en el período en que Martínez (2000) realizó el trabajo.

La situación anterior también se evidencia en la velocidad de la corriente del agua registrada para la zona de estudio, donde se encontraron los valores de  $0.18$  a  $1.53 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , los cuales son altos al momento de compararlos con los rangos de valores de  $0.18$ - $1.53 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (Martínez, 2000) y  $0.15$ - $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (Biggs *et al.*, 1989). No obstante, la velocidad de corriente del agua del río Tota se encuentra por debajo del rango reportado por Biggs *et al.*, (1998) que corresponde a  $6.2$ - $6.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Los factores hidrológicos a su vez cumplen un papel fundamental porque influyen directamente sobre el comportamiento general de los parámetros físicos tales como conductividad, y químicos como oxígeno disuelto, pH, amonio, nitrito y carbonato, es decir, si el caudal aumenta las variables mencionadas anteriormente disminuyen.

Este comportamiento ha sido reportado para otros ríos tropicales, donde también se presenta una interrupción en la dinámica de las variables mencionadas anteriormente cayendo a sus valores más bajos, como resultado del efecto de la dilución generada por las aguas altas (Payne, 1986).

En síntesis, las variables hidrológicas están bajo las lluvias que se presentan en la cabecera del río, esto trajo como consecuencia el aumento del caudal, el cual ejerce un control sobre las variables físicas, químicas y biológicas.

## **6.2. VARIACIONES TEMPORALES EN LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO TOTA.**

### **6.2.1.FÍSICAS**

Las variables físicas de la zona media del río Tota, presentaron una diferencia significativa entre los períodos estacionales.

Las variaciones registradas en la conductividad estuvieron sujetas a los valores hidrológicos registradas para la zona de estudio, por lo tanto presentó una correlación alta y negativa con estas variables, ya que en marzo la época de aguas bajas registró los valores más altos de conductividad, debido a que las concentraciones de los iones son altas, mientras que en los períodos de aguas altas, la conductividad disminuye debido a los procesos de dilución de los iones.

El rango de valores registrados en este estudio, 19-266  $\mu\text{S. cm}^{-1}$ , coincide con los datos reportados por Martínez (2000). Esta autora menciona que estos valores se encuentran por fuera del rango determinado por Margalef (1983), el cual es de 25-113  $\mu\text{S. cm}^{-1}$ , como consecuencia de los aumentos de 2 a 3 veces en las concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  y de los sólidos suspendidos y disueltos.

La temperatura del agua, la radiación ultravioleta y la luz, dependen directamente de las condiciones climáticas registradas para la zona de estudio y a si de esta forma se presenta la variación temporal significativa registrada en este trabajo.

## **6.2.2. QUÍMICAS**

Con relación a los factores químicos, los cationes analizados en este estudio presentan una variación estacional importante, además no muestran correlaciones entre sí, y no se evidencia una relación precisa con las algas del perifiton, aunque no se estudiaron todos los parámetros, las concentraciones iónicas fueron bajas, probablemente por las bajas temperaturas registradas y en menor grado por la baja disolución de las rocas y la precipitación (Allan, 1995).

### **6.2.2.1. CATIONES MINORITARIOS**

Las concentraciones de amonio, y carbonatos se relacionan con la conductividad (Tabla 7), aunque la del primero es negativa, se considera que el carbonato es el principal componente que da al agua su carácter, por lo tanto estas proporciones son a la vez poco influenciadas por la actividad de los organismos (Margalef, 1983), resaltando entonces que el aporte de los otros iones a la cuenca es baja, ya que el suelo de la región es ígneo formado por una textura limo-arcillosa de carácter orgánico (Buitrago, 1987), por lo tanto se considera que la principal fuente de carbonato proviene de los aportes de la vegetación riparia a la cuenca del río.

El fósforo, en general presentó valores de 0 mmol l<sup>-1</sup> a lo largo de todo el período de estudio. Estos valores generalmente se registran en aguas muy pobres o en aguas ricas en calcio porque en ellas se supera el producto de solubilidad del fosfato cálcico (Margalef, 1983). Además la composición de la zona de estudio al ser ígnea presenta muy bajas cantidades de fósforo, que son absorbidos rápidamente por los organismo (Allan, 1995).

Los valores de nitrito registrados para la zona de estudio resultaron ser bajos ya que no superaron los 3.26 mmol.l<sup>-1</sup>, si se comparan con los datos descritos por Margalef (1983) para los ríos de montaña de suramérica, donde registró valores entre 0.1 y 38 mmol.l<sup>-1</sup>. Sin embargo, estos iones parecen no cumplir un papel importante para el desarrollo y crecimiento de las algas ya que no los pueden asimilar.

Las concentraciones de sílice registradas para la zona de estudio alcanzaron valores de 224.66 mmol.l<sup>-1</sup> y comparados con los datos de Martínez (2000) son bajos debido a las pocas descargas directas de los cultivos aledaños.

Sin embargo, el sílice, al ser otro elemento fundamental para las algas no parece ser un factor determinante en este trabajo, por lo tanto se cree que este catión juega un papel secundario para el crecimiento y desarrollo de la comunidad de algas perifíticas, aunque es un elemento fundamental para el metabolismo de la Bacillariophyceae debido a que forma parte de su pared celular (Allan, 1995).

Por lo tanto, las algas perifíticas están adaptadas y estimuladas por las bajas concentraciones de los nutrientes ya que no se registra mucha disponibilidad de ellos en el medio (Allan, 1995).

#### **6.2.2.2. PH y ALCALINIDAD.**

El pH presenta una variación estacional importante y se correlaciona con el flujo y la velocidad de corriente del agua, este hecho se reafirma con el ACP, por lo tanto se cree que los cambios en el pH se deben a la concentraciones de los iones libres en el agua (Allan, 1995).

La alcalinidad presenta cambios temporales importantes y a la vez se correlaciona positivamente con la conductividad, lo cual indica que se da básicamente por la presencia de iones bicarbonato en el medio (Margalef, 1983), resaltando de esta manera que la cuenca aporta principalmente ácidos débiles, mostrando entonces una participación igual del bicarbonato en el medio en relación a los otros iones

#### **6.2.2.3. OXÍGENO DISUELTO**

Los valores de oxígeno disuelto registrados para la zona de estudio presentaron una media de  $7.12 \text{ mg.l}^{-1}$ , debido a la constante agitación que acelera su difusión, a los procesos de dilución a los que son sometidos gracias a las fluctuaciones en las variables hidrológicas, a los cambios en la temperatura y a la descomposición de la materia orgánica.

Por lo tanto, el oxígeno disuelto está correlacionado positivamente con el flujo, la amplitud, la profundidad y la velocidad de corriente, mientras que con la alcalinidad presenta una correlación negativa debido a que esta implica estados reducidos en los compuestos (Wetzel, 1983).

Así mismo, los menores valores de esta variable se presentaron en marzo y están relacionados con el mayor aporte de materia orgánica procedente de la vegetación riparia (Figuras 15 y 28-33) , el período de aguas bajas (Figura 6), los procesos de oxidorreducción que implican un consumo de oxígeno y la actividad fotosintética de la zona (Allan, 1995).

En síntesis, los factores químicos analizados en el río Tota, presentaron valores bajos y una tendencia estacional importante, a excepción de los fosfatos que casi siempre sus concentraciones fueron indetectables. En general estas variables están directamente influenciados por las variables hidrológicas, como se observó en el ACP.

### **6.3. ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SECTOR MEDIO BAJO DEL RIO TOTA.**

#### **6.3.1.COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS ALGAS PERIFITICAS DEL RIO TOTA.**

La comunidad de algas perifíticas del sector medio bajo del río Tota, está regulada por factores hidrológicos (caudal, profundidad y velocidad de corriente del agua), físicos (conductividad, temperatura, incidencia de la luz y radiación ultravioleta) y químicos (alcalinidad, amonio y carbonatos). Esta influencia se detecto por medio del Análisis de Correspondencia Canónica, mientras que los análisis de varianza (ANOVA) registraron solamente variación a nivel estacional ya que las respuestas ecológicas de las algas poseen cambios interesantes entre los períodos de estudio (Figura 34 y 35).

Sin embargo, el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) encontró que los factores fundamentales que influyen sobre la dinámica y composición de la comunidad de algas perifíticas son las hidrológicas, especialmente la velocidad de la corriente del agua ya que este es el mayor determinante en los procesos de colonización (Poff *et al.*, 1990).

Por lo tanto, la abundancia de las especies perifíticas del río Tota, presenta un régimen que coincide con los períodos de aguas altas y bajas, ya que el máximo número de organismos se registró en el período de altas, mientras que el mínimo con el período de aguas bajas, el cual correspondió al mes de marzo (Figura 6, Tabla 21), de tal manera que la comunidad depende de factores externos en este caso del caudal. El grupo más dominante del perifiton durante todo el período de estudio fueron las Bacillariophyceae, mientras que las Euglenophyceae y Cyanophyceae representan una pequeña porción del perifiton.

En el período de aguas bajas se registró el predominio de Euglenophyceae desplazando a las Bacillariophyceae, debido a que se asocian con aguas poco profundas y la velocidad de corriente no ejerce un efecto negativo sobre las Euglenophyceae, ya que estas condiciones favorecen su multiplicación y a la vez no intervienen con su locomoción y pueden adherirse más fácil al sustrato, aunque pueden correr el riesgo de quedar fácilmente eliminadas por la competencia de otros organismos.

Las Euglenophyceae, se presentaron también en mayor cantidad en marzo, períodos donde las variables hidrológicas registraron sus menores valores (Tabla 21), gracias a que esta especie se desarrolla mejor en ambientes con una alta concentración de materia orgánica disuelta. Para esta época de estudio se observó gran cantidad de materia orgánica en descomposición en el sedimento y a su vez formando una película sobre la superficie del agua, estas características brindan las condiciones ideales para el establecimiento de las Euglenophyceae, ya que estas condiciones favorecen su locomoción, la cual se basa en la reptación apoyada en la mucosidad que secretan (Margalef, 1983).

En el período de aguas altas predominaron las Bacillariophyceae (Figura 35), las cuales poseen un mayor rango de tolerancia a los aumentos en los factores hidrológicos, además poseen una cubierta mucilaginoso que les ayuda a adherirse firmemente al sustrato (Allan, 1995; Margalef, 1983). Este mucilago secretado por

estas especies, hace que se disminuya el estrés generado por el desprendimiento ocasionado por las aguas altas y a la vez permite la absorción de iones, nutrientes, materia orgánica y la adhesión de detritus, bacterias y hongos (Burkholder, 1996; citado por Martínez, 2000).

Estas especies están representadas principalmente por *Gomphonema parvulum*, *Cocconeis placentula* y *Rhoicosphenia abbreviata*, las cuales coinciden con algunas de las especies reportadas por Gosh & Gaur en 1998, como individuos que soportan cambios drásticos en cuanto a la velocidad de corriente.

Mientras que las Cyanophyceae, Chlorophyceae también se reportaron en el período de aguas altas, coincidiendo con los reportes de Martínez (2000), ya que esta autora registró estas cuando aumentaron los valores de flujo y profundidad. Sin embargo, estas a su vez poseen un significado especial en la ecología acuática ya que tienen la capacidad de fijar nitrógeno molecular y a la vez regulan la relación entre el fósforo y nitrógeno (Margalef, 1983). En este sentido *Oscillatoria sp.* es reportada por Allan (1995) como una especie que se desarrolla en medios con una relación N/P alta, sin embargo para el río Tota, este fenómeno no se observó, motivo por el cual la presencia de esta especie probablemente se deba a los valores de alcalinidad altos (Figura 17) reportados para el mes de marzo, época en la cual se presentó el período de aguas bajas.

## **6.3.2. DINÁMICA DE LA COMUNIDAD DE ALGAS DEL PERIFITON DEL RIO TOTA.**

### **6.3.2.1. DIVERSIDAD DE ALGAS PERIFITICAS.**

La diversidad hallada a lo largo de los siete meses de estudio, reflejan una pauta en el complicado comportamiento de la comunidad de algas perifíticas, como consecuencia de la gran cantidad de factores bióticos y abióticos que sobre ella actúan (Margalef, 1983).

Los valores obtenidos en cuanto a la diversidad de especies perifíticas para el río Tota tiene un valor promedio de 1.99, con un rango de variación de 1.53 a 2.58, valores relativamente bajos, para un sistema tropical donde se espera encontrar valores superiores a 3 (Payne, 1986).

La diversidad y riqueza de especies de algas perifíticas, esta a la vez influenciado por la variación en los factores hidrológicos, este fenómeno se ve reflejado en el muestreo realizado en julio, donde ocurrió el período de aguas altas y se registró una disminución en los valores de diversidad debido al desprendimiento de las algas perifíticas adheridas al sustrato artificial, lo cual permitió la dominancia de unas pocas especies.

Sin embargo, en marzo, período seco, también se observó que la diversidad disminuye debido al incremento en los procesos de herbivoría y competencia (Payne, 1986).

#### **6.3.2.2. RIQUEZA DE ESPECIES PERIFÍTICAS.**

Los valores de riqueza para todo el período de estudio fueron más o menos constantes, ya que no sufrieron grandes fluctuaciones en los valores calculados, sin embargo en julio se registra una disminución en los valores de diversidad, pero de acuerdo con Donato, *et al*, (1996) esta condición parece ser normal para el perifiton, ya que la comunidad si bien muestra una riqueza de especies alta, tiene una baja diversidad. Entonces para el río Tota, está característica es el resultado del aumento del espacio disponible creado por el desprendimiento de algunas algas para la colonización de otras especies, lo que conduce a la coexistencia de una gran cantidad de individuos perifíticos, aunque una sola especie, *Gomphonema parvulum*, fue la dominante.

#### **6.3.3. CAMBIOS DIARIOS Y ESTACIONALES DE LA PRODUCTIVIDAD PERIFÍTICA Y DE LA DENSIDAD CELULAR DEL SECTOR MEDIO BAJO DEL RÍO TOTA.**

La productividad de la comunidad perifítica del sector medio bajo del río Tota presenta una variación estacional significativa, mientras que la variación diaria no fue importante. Por lo tanto el muestreo realizado en mayo, presentó los valores

máximos y mínimos para todo el período de estudio (5200 y -6450 mg m<sup>-2</sup>. d<sup>-1</sup>), esta situación probablemente se presentó debido a que el material que se acumuló en las placas de colonización es una combinación de naturaleza inorgánica y de la comunidad de algas y por lo tanto el método empleado no los tiene en cuenta y de esta manera se obtienen resultados negativos. Otro posible factor que influye en esta situación es que lo que se acumula en la placa de colonización es material orgánico acumulado, principalmente lo que hace poco sensible el método al cuantificar la fijación de las algas y su productividad; aunque las fluctuaciones esporádicas en la velocidad de corriente del agua, también juegan un papel importante debido a que este factor interrumpe la acumulación de biomasa, lo que hace que se presenten grandes diferencias a la hora de calcular la productividad a través de los pesos secos ya que probablemente el día anterior a que ocurriera la fluctuación había una buena cantidad de material orgánico acumulado y al realizar la diferencia del peso entre los sólidos volátiles resultó negativo.

El valor promedio de productividad obtenido para el río Tota, fue de 0.052 g m<sup>-2</sup>. d<sup>-1</sup>. Estos valores al compararlos con los datos registrados por La Perrire *et al* (1989), Biggs *et al* (1998), son supremamente bajos, ya que estos valores tienen un promedio de 100 g m<sup>-2</sup>. d<sup>-1</sup>. No obstante, estos resultados no son comparables debido a las diferencias en las condiciones ambientales, climáticas, los nutrientes disponibles, la cantidad de materia orgánica aportada por la vegetación riparia y el método empleado para los análisis de los valores de productividad. Otro factor que

no permite la comparación de los datos de este trabajo es la no existencia de variables ambientales que explique los cambios que se presentan en la productividad, esto hecho se comprobó con la ausencia de correlaciones de esta variable respecto a los otros factores registrados en este estudio.

Esta situación probablemente se presentó porque el método de acumulación de biomasa para estimar la productividad de la comunidad perifítica empleado en este estudio resultó ser muy sensible a la baja cantidad de carbono fijado sobre las placas de colonización, debido a que gran parte de la biomasa acumulada está representada por diatomeas, las cuales poseen frústulas con poco contenido celular y alto contenido de sílice, el cual tiene influencia sobre la productividad (Wetzel, 1983).

Por lo tanto, la productividad calculada en términos de carbono para el río Tota, no resultó ser una medida efectiva, debido a que se presentaron resultados inesperados en relación a la productividad de las algas perifíticas al no encontrarse correlaciones significativas con las variables ambientales, y con las concentraciones de oxígeno disuelto, conductividad, y fosfato, nitrito, y sílice, esto coincide con las afirmaciones de Margalef (1983), y Biggs (1989) según las cuales las comparaciones entre la productividad primaria y la concentración simultánea de elementos supuestamente limitantes es arriesgada y puede conducir a resultados contradictorios.

Por lo tanto, se tomó la densidad celular total como una forma indirecta de la productividad, la cual proporcionó algunas relaciones con las variables físicas, químicas e hidrológicas. Esto se reafirmó con el Análisis de Correspondencia Canónica, el cual muestra la influencia principal de la hidrología sobre la densidad celular, ya que el eje está asociado con el caudal, la profundidad y la velocidad de la corriente del agua. Sin embargo factores físicos como conductividad, temperatura del agua, luz y radiación ultravioleta y químicos como el amonio, alcalinidad y los carbonatos, pasan a un segundo plano ya que no intervienen directamente sobre el proceso de acumulación de las algas perfiticas.

No obstante, la incidencia de la luz y la temperatura tienen efectos positivos sobre la densidad perfitica en casi todos los meses de estudio, a excepción del muestreo 3 realizado en mayo (Figura 23), donde se registraron los menores valores para estas variables. Por lo tanto, la baja intensidad de luz y de temperatura probablemente es uno de los factores que intervienen en la disminución en la densidad celular, ya que este factor afecta directamente el desarrollo de las algas (Biggs, 1988; Hill, 1988, Rosemond, *et al*, 2000). Sin embargo, Allan (1995) establece que las diatomeas no se afectan directamente por los cambios en la incidencia de la luz de manera que se podría pensar que la luz raramente será un factor limitante, confirmando el resultado del ACC, en el cual este factor se ubica en un segundo plano.

Para este trabajo, la velocidad de corriente y el caudal, resultaron ser entonces los factores hidrológicos más importantes que determinan la densidad celular, debido a la correlación existente entre estas variables (Tabla 21), la cual ocasiona una relación inversa generada entre la densidad y la velocidad de corriente del agua y el caudal. Por consiguiente, concuerda con los trabajos realizados por Biggs (1989), Poff, et al (1990), donde registran la relación existente entre la densidad celular perifítica con la velocidad de corriente del agua.

Los resultados del ACC, indican que los máximos valores de densidad celular se encontraron en los muestreos que presentaron una baja velocidad de corriente del agua, este factor hace que la acumulación de células sea mayor durante las etapas iniciales y tardías de la colonización, porque facilita a las algas perifíticas la absorción de nutrientes, respiración, fotosíntesis y crecimiento (Stevenson, 1996).

Mientras las altas velocidades de corriente del agua, disminuyen la densidad de la comunidad perifítica, debido al desprendimiento de las algas ocasionado por el aumento en los factores hidrológicos, la arquitectura que presentan las especies que la componen, las diferencias funcionales en la forma de crecimiento y por la dificultad que se genera al momento de la absorción de nutrientes del medio debido a la disminución en su concentración generada por el proceso de dilución.

Este fenómeno se observó claramente en el muestreo realizado en julio (Figura 27), donde se presentaron los menores valores de densidad celular, pero a su vez

se registraron los máximos valores de los factores hidrológicos como se había mencionado anteriormente. Los resultados obtenidos coinciden con los rangos de datos registrados por Poff *et al.* (1990), el cual trabajó también con caudales altos y encontró que sus valores de abundancia disminuían.

Sin embargo, otro factor que influye en la disminución de la densidad algal es el taponamiento del sustrato, el cual hace que no se adhieran otras especies y proporcione un número limitado de individuos perifíticos, debido a la disminución del espacio disponible para la colonización de estas especies.

Por consiguiente, la acumulación de algas perifíticas sobre el sustrato artificial está en función de la inmigración, reproducción y emigración (Ghosh & Gaur, 1998)

En síntesis, la productividad de la comunidad de algas perifíticas para el río Tota, no se encuentra correlacionada con ninguna variable ambiental, por lo tanto se empleó la densidad celular total como una medida indirecta de la productividad. Esta variable presentó una variación estacional, que está sujeta en primera medida por los factores hidrológicos, y en especial a la velocidad de la corriente del agua

#### **6.3.4. APORTES DE MATERIA ORGANICA GRUESA A LA CUENCA DE DRENAJE DEL RÍO TOTA.**

Los resultados obtenidos nos permiten una aproximación al conocimiento de la cantidad relativa de materia orgánica aportada por la vegetación riparia de la cuenca de drenaje del río Tota, la cual constituye una de las principales entradas de energía para el ecosistema.

Esta energía es requerida para la producción heterotrófica del río y es esencial para la conservación y restauración de las cadenas tróficas, ya que influye sobre la comunidad biótica del ambiente acuático (Wallace, *et al*, 1997).

En este estudio, se registró que la especie *Alnus acuminata*, es la principal fuente de materia orgánica gruesa aportada al río, debido a que su cobertura sobre su superficie excede el 70%. En contraste la especie *Salix humboldtiana*, registra los menores aportes por su menor cobertura y por estar determinada por los efectos climáticos (Figuras 31-33).

Gracias a los procesos fisiológicos tal como la renovación de hojas y a los factores ambientales la mayor proporción de materia orgánica gruesa aportada por cada especie, está representada principalmente por hojas (Figuras 28 y 31), Este comportamiento ha sido reportado por Hynes (1976), Allan (1995) y Wallace, *et al*, (1997) para estas y otras especies vegetales.

La materia orgánica gruesa como hojas de *Alnus acuminata*, registra los mayores aportes en relación a las ramas y semillas (Figuras 29 y 30), porque esta especie es caducifolia con una tasa alta de renovación de hojas durante los períodos de marzo a mayo y julio a septiembre (DAMA, 1998), y porque a la vez posee una área foliar de tamaño relativamente importante.

Por lo tanto, esta estacionalidad en la caída de las hojas soporta las evidencias en la variabilidad que se presentó entre los meses de estudio.

Los aportes de semillas de *Alnus acuminata* también son independientes de los factores ambientales y se presentan por los períodos de fructificación reportados en junio y julio. Sin embargo, estos aportes son menores en relación a las hojas y ramas, debido a las diferencias existentes entre el tamaño y su composición, ya que a la vez registran una tasa de descomposición rápida que brinda compuestos orgánicos importantes al sistema (DAMA, 1998).

Por lo tanto, para la especie *Alnus acuminata*, los aportes de materia orgánica gruesa a la cuenca de drenaje del río Tota son independientes de los factores ambientales ya que no existe ninguna relación con los registros de lluvias ni con la velocidad del viento registrada para la zona de estudio. Sin embargo, estos aportes si dependen de los procesos relacionados con la fisiología de la especie, lo que implica que estos aportes se den a lo largo de todo el año.

Los aportes de materia orgánica gruesa de *Salix humboldtiana* son menores y homogéneos a lo largo del período de estudio, porque esta especie posee una menor cobertura sobre la superficie del río, cerca a un 30%. Además las características morfológicas de la especie son diferentes en relación a la especie *Alnus acuminata* en cuanto al área foliar, la cual es menor y a la vez los registros de la tasa de renovación de hojas la cual es baja según los registros obtenidos (DAMA, 1998).

En la tabla 23 se reporta un coeficiente de correlación positiva entre los aportes de materia orgánica y los períodos de lluvia y sequía que se registran para la zona de estudio, donde se reporta la existencia de una mayor cantidad de materia orgánica en los períodos de menor intensidad de lluvia, en este caso particular, el mes de marzo.

La afirmación anterior se refuerza debido a que los datos obtenidos no concuerdan con el crecimiento estacional de la especie el cual se presenta en los meses de junio y julio (DAMA, 1998).

Los aportes de materia orgánica para la especie *Salix humboldtiana*, son dependientes de los factores ambientales. Los aportes de semillas registran los valores más bajos con relación a los aportes de hojas y ramas, debido a que la composición morfológica es menor y a la vez sus períodos de fructificación son muy cortos (DAMA, 1998).

No obstante, no se han realizado muchas investigaciones de este tipo para regiones tropicales, sin embargo, Allan (1995) reporta datos de los aportes de hojas a un río en Arizona, para un transecto de 500 m y donde registró valores de  $0.000604 \text{ g ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , los cuales resultan ser muy bajas si se comparan con los datos obtenidos en este trabajo ya que el valor máximo reportado fue de  $56.92 \text{ g}.\text{ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , estos valores encontrados por Allan (1995) pueden estar influenciados por el tipo de vegetación, la cobertura vegetal y las condiciones ambientales las cuales resultan diferentes para el trópico.

Es importante resaltar que estos aportes de materia orgánica de la vegetación riparia, presentan una variación estacional importante, y a la vez están regulados por las condiciones ambientales, especialmente por las lluvias, para la especie *Salix humboldtiana*, mientras que los aportes de materia orgánica por la especie *Alnus acuminata*, se deben a sus procesos fisiológicos para determinar su comportamiento estacional.

Al comparar la producción autóctona y alóctona del río Tota, se observa que existe una relación inversa entre estos dos factores (Figura 34), ya que cuando se registran los valores más altos para la producción alóctona, se observa una disminución en los valores de la producción autóctona, este hecho coincide con el período de lluvias registrado para la zona de estudio, el cual ejerce un efecto positivo sobre los aportes de materia orgánica provenientes de la vegetación riparia, estos aportes cumplen un papel fundamental en el metabolismo y las

cadena trófica del río, debido a que son importantes fuentes de energía, la cual se requiere para la producción heterotrófica del río y a la vez constituyen las principales categorías de materia orgánica no viviente en los ecosistemas acuáticos (Allan, 1995; Margalef, 1983).

El aporte de materia orgánica por la vegetación riparia interviene también en las condiciones químicas del agua, aunque este hecho no se comprobó en este estudio, su descomposición influye en el pH del agua, concentración de nitritos, nitratos, fosfatos y de otros elementos (Margalef, 1983).

Algunos estudios han determinado la importancia de los aportes alóctonos de materia orgánica como fuentes de energía en la dinámica y metabolismo de los ecosistemas acuáticos, sin embargo, Wallace *et al.*, (1997), después de excluir durante tres años la caída de hojas, demostró que los aportes de materia orgánica proveniente de la vegetación riparia son esenciales para la conservación y restauración de las cadenas tróficas, debido a que estas son una fuente importante de alimento para los macroinvertebrados acuáticos y a la vez soportan una gran diversidad y abundancia de estas especies (Allan, 1995).

Sin embargo, en este trabajo no se estudio la influencia directa de los aportes de materia orgánica sobre la producción autóctona, motivo por el cual la única relación que se presenta entre estas dos variables es el aumento de la lluvia, la cual ocasiona una disminución en sus valores debido a que la precipitación, en este caso influye directamente la hidrología del río, este factor interviene en el proceso de acumulación de biomasa, debido al desprendimiento de las algas.

Como síntesis final, es importante considerar que los factores más influyentes sobre la estructura, dinámica y densidad celular de la comunidad de algas perifíticas del río Tota son los hidrológicos, aunque en el período de sequía otras variables como la competencia y herbivoría son las encargadas de controlar las variables biológicas. La diversidad y riqueza de la comunidad perifítica varían respecto a la incidencia de la velocidad de corriente del agua sobre el sustrato artificial. Las especies más abundantes durante todo el período de estudio pertenecen al grupo de las Bacillariophyceae, mientras que las Euglenophyceae y Cyanophyceae representan una pequeña porción. El método empleado para estimar la productividad de la comunidad de algas perifíticas para el río Tota, no resultó ser muy efectivo, debido a su sensibilidad a la baja cantidad de carbono, motivo por el cual no se encuentra correlacionada con ninguna variable ambiental, por lo tanto se empleó la densidad celular total, como medida indirecta de productividad, la cual presentó una variación estacional importante, que está sujeta en primera medida por los factores hidrológicos, especialmente la incidencia de la velocidad de la corriente del agua que se registró en la zona de estudio, este hecho se confirmó con el ACC.



## 7. CONCLUSIONES

- Las tendencias climáticas, especialmente la precipitación que se presenta en la cabecera del río influye sobre las variables físicas, químicas, biológicas e hidrológicas. Estas últimas operan en un segundo nivel determinando el comportamiento de las variables físicas, químicas y biológicas.
- Los nutrientes analizados en este estudio, presentan bajas concentraciones, motivo por el cual no presentan cambios temporales significativos y al mismo tiempo no parecen ser factores que afecten directamente a las algas perifíticas.
- La abundancia máxima de las especies perifíticas del río Tota, presenta un régimen que coincide con el período de aguas altas, mientras que los mínimos valores de abundancia se presentaron en la época de aguas bajas, por lo tanto se detecta una variación a nivel estacional importante.
- El grupo más dominante del perifiton durante todo el período de estudio fueron las Bacillariophyceae, debido a las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que soportan un mayor rango de tolerancia a las fluctuaciones hidrológicas.

- La mayor diversidad se presenta cuando las lluvias esporádicas controlan la dinámica de la comunidad de algas perifíticas del río Tota, ya que el aumento o la disminución de la lluvia reducen estos valores debido al desprendimiento de las algas y al aumento de los procesos de competencia y herbivoría.
- El método para calcular la productividad de la comunidad perifítica del río Tota, por medio de un sustrato artificial, no mostró resultados claros debido a su baja sensibilidad a la baja cantidad de carbono registrado.
- La densidad celular de la comunidad perifítica, presenta variaciones estacionales significativas. Su comportamiento está regido por los factores hidrológicos, especialmente por la velocidad de corriente del agua que influye directamente sobre el establecimiento de la comunidad, sin embargo en segundo orden se encuentran los factores físicos y químicos.
- Los aportes de materia orgánica gruesa procedentes de la vegetación riparia están regulados por las condiciones ambientales, especialmente las lluvias y por los procesos fisiológicos. Sin embargo, la cantidad de aportes reportados para la cuenca de drenaje son bajos, lo cual refleja la poca vegetación y la dominancia de pocas especies.

## 8. RECOMENDACIONES

Con el fin de ampliar el conocimiento de la productividad de la comunidad perifítica y los aportes de materia orgánica de la vegetación riparia y de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se recomienda:

- Emplear replicas de los sustratos artificiales para dar mayor consistencia a los datos y estimar el biovolumen total para dar una mejor aproximación al carbono total.
- Evaluar otros métodos para calcular la productividad de la comunidad de algas del perifiton, tales como el peso seco, el método de pigmentos, la densidad algal y las estimaciones de ATP (APHA, 1998), al mismo tiempo, para conocer cual de todos resulta ser mas efectivo, para calcular la productividad del río Tota.
- Estudiar bajo condiciones controladas en el laboratorio la incidencia de factores como la temperatura, luz, adición de nutrientes para conocer el efecto que estas variables tienen sobre la comunidad de algas perifíticas.
- Estudiar en un transecto más amplio los aportes de materia orgánica procedente de la vegetación riparia.

## 9. BIBLIOGRAFIA

ALLAN, D. 1995. Stream Ecology Structure and Function of Running Waters. Chapman 8 Hall. London.

APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. USA

BENKE, A.C; T.C. VAN ARSDALL; D.M. GILLESPIE &F.K. PARRISH. 1984. Invertebrate productivity in a subtropical blakwater river. The importance of habitat and life history. Ecology 54: 25-63.

BIGGS, B & M. CLOSE. 1988. Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrients. Freshwater Biology 22: 209-231

BIGGS, B. 1996. Patterns in benthic algae of streams. En Algal Ecology. Edited by Stevenson. R, Bothwell. M, Lowe. R. Academic press. USA.

BIGGS, B; GORING, D. & NIKORA, V. 1998. Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form. J. Phycol. 34: 598-607.

BORCHARDT, M. 1996. Nutrients. In Algal Ecology. Edited by Stevenson, R; M. Bothwell; R. Lowe. Academic Press. USA.

BOTT, T; J. T. BROCK; C. E. CUSHING; S. V. GREGORY; D. KING, & R. C. PETERSEN. 1978. A comparison of methods for measuring primary productivity and community respiration in streams. *Hydrobiología*. 60:3-12

BUITRAGO, J; A. ROSAS; I. VERGARA. 1987. Análisis de la estabilidad en un sector entre Iza y Cuitiva. Depto de Boyacá. Tesis de Grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería Geológica. Sogamoso, Boyacá.

CANAVOS, G. 1988. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y Métodos McGraw Hill. México.

CARRERAS, E. 1975. Estudio general de Suelos de los Municipios de Aquitania, Cuitiva, Iza, Firavitoba. Monguí, Sogamoso, Tota en el Departamento de Boyacá. IGAC. Colombia

CATTANEO, A.1987. Periphyton in lakes of different trophy. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 296-303.

DeNICOLA, D. 1996. Periphyton responses to temperature at different ecological levels. In *Algal Ecology*. Edited by Stevenson, R; M. Bothwell; R. Lowe. Academic Press. USA.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE (DAMA). 1998. Manual guía de especies vegetales en vía de extinción y de frecuente comercialización. Bogotá.

DOBSON, M & C. FRID. 1998. *Ecology of aquatic systems*. First ed. Addison Wesley Longman. England.

DONATO, J. CH; L.E. GONZALEZ; C. RODRIGUEZ.1986. *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez LLeras No. 9 . Colombia

GHOSH, M & GAUR, J. 1998. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquatic Botany* 601: 1-10.

HILL, W.& A. KNIGHT. 1988. Nutrient and light limitation of algae in two Northern California Streams. *J. Phycol* 24: 125-132.

HILL, W. 1996. Effects of light. In *Algal Ecology*. Edited by Stevenson. R, Bothwell. M, Lowe. R. Academic press. USA.

HYNES, H.B.N. 1976. The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press.  
Great Britain

HURYN, A.D & J.B. WALLACE. 1987. Local geomorfology as a determinant of  
macrofaunal production in a mountain stream. Ecology 68: 1932-1942.

JONGMAN, R. TER BRAAK, C & VAN TONGEREN, O. 1995. Data analysis in  
community and landscape ecology. Cambridge University Press. Great Britain.

KEITHAN, E; R. LOWE & H. DeYOE. 1988. Benthic diatom distribution in a  
Pennsylvania stream: Role of pH and nutrients. J. Phycol. 24: 581-585.

KRAMMER, K. 1992. Die gattung *Pinnularia* in Bayern. Hoppea. Bp. 52.

KRAMMER, K & H. LANGE-BERTALOT. 1991. Bacillariophyceae 1. Naviculaceae.  
Gustav Fischer Verlag.

KRAMMER, K & H. LANGE-BERTALOT. 1991. Bacillariophyceae 3. Centrales,  
Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

LANGE-BERTALOT, H. 1992. 85 Neue taxa. Bibliotheca Diatomologica. Band 27.

LANGE-BERTALOT, H & S. GENKAL. 1999. Diatoms from Siberia. 1. Iconographia Diatomologica. AR.G. Gantner Verlag. K.G.

LAMBERTI, G & A. STEINMAN. 1997. A comparison of primary production in stream ecosystems. Journal of the North American Benthological Society. 16:96-103.

LaPERRIERE, J; Van NIEUWENHUYSE, E; ANDERSON, P. 1989. Benthic algal biomass and productivity in high subarctic streams, Alaska. Hydrobiologia 172- 63-75.

LOWE, R & Y.PAN. 1996. Benthic Algal Communities as Biological Monitors. In Algal Ecology. Edited by Stevenson, R; M. Bothwell; R. Lowe. Academic Press. USA.

MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ed. Omega. Barcelona

MARTINEZ, L. 2000. Factores que influyen en la colonización de algas en un río de alta montaña. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudio ambientales y rurales. Bogotá.

MATTEUCCI, D. E & A.COLMA. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.

Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No 22.  
Washington. U.S.A.

MEYER L.J. & T.E. RICK T. 1990. Ecosystem metabolism and turnover of organic carbon along a blackwater river continuum. *Ecology* 71(2): 668-677.

PAN, Y & R. STEVENSON. 1996. Gradient analysis of diatoms assemblages in Western Kentucky wetlands. *J. Phycol.* 32: 222-232.

PAYNE, A. 1986. The ecology of tropical lakes and rivers. John Wiley & Sons.

PEREZ, R; W.MARIÑO. 1995. Estudio geotécnico y de cimentaciones en el municipio de Iza, Boyacá. Tesis de Grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería Geológica. Sogamoso, Boyacá.

PETERSEN, R; K. CUMMINS; G. MINSHALL. 1984. Stream ecosystem theory. *Internat. Verein. Limnol* 22:1818-1827.

POFF. N; VOELZ, N; & WARD, J. 1990. Algal colonization under four experimentally-controlled current regimes in a high mountain stream. *J. North. Am. Benthol. Soc.* 9: 303-318.

RANGEL O; P. LOWY; M. AGUILAR. 1997. Colombia diversidad botánica II. Tipos de vegetación en Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.

ROSEMOND, A; MULHOLLAND, P & BRAWLEY, S. 2000. Seasonally shifting limitation of stream periphyton: response of algal populations and assemblage biomass and productivity to variation in light, nutrients and herbivores. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 66-75.

SLADECKOVA, A. 1962. Limnological Investigation Methods for the Periphyton ("Aufwuchs") Community. Botanical Review 28: 286-353.

SOLLINS, P; C. A. GLASSMAN & C. N. DAHN. 1985. Composition and possible origin of detrital material in stream. Ecology 66(1): 297-299.

STEVENSON. R. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. En Algal Ecology. Edited by Stevenson. R, Bothwell. M, Lowe. R. Academic press. USA.

VANNOTE, R.L, MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W. , SEDELL, J. R. & CUSHING, C. E. 1980. The river continuum concept. can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 130-137

WALLACE, J; EGGERT, S; MEYER, J & WEBSTER, J. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science* 37: 130-137.

WARD, J & J. STANFORD. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. *En Dynamics of lotic ecosystems* 29-42.

WEBSTER, J & J. MEYER. 1997. Organic matter budgets for streams: a synthesis. *Stream Organic Matter Budgets. Journal of North American Benthological Society.* 16:141-161.

WETZEL, R. 1965. Techniques and problems of primary productivity measurements in higher aquatic plants and periphyton. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 18 (Suppl.):249-267.

WETZEL, R. 1981. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelon