

Fase II (DIAGNOSTICO)

Capítulo II

PARTE B

PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RIO CHIRIAIMO

JULIO SUAREZ LUNA

Director

Corporación Autónoma Regional del Cesar
“CORPOCESAR”

CONSTRUAMBIENTE S.A.S

DEPARTAMENTO DEL CESAR

TABLA DE CONTENIDO

2.1	DEFINICIÓN DE TRAMOS DE ANALISIS	21
2.2	estructura conceptual para la modelación de la calidad del cuerpo de agua 21	
2.2.1	Marco Conceptual.....	21
2.2.2	Marco Conceptual de la Modelación.....	24
2.2.3	Modelo Conceptual del Caudal.....	25
2.2.4	Curva de Gastos.....	25
2.2.5	Características Hidráulicas.	26
2.2.6	Coeficiente de Reaireación.....	27
2.2.7	Aplicación del modelo Qual2kw	29
2.3	PLAN DE MONITOREO EN EL CUERPO DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO	29
2.3.1	Primera campaña de monitoreo.....	30
2.3.2	Segunda campaña de monitoreo.....	30
2.3.3	Levantamiento se secciones transversales	32
2.3.4	Modelamiento Hidráulico	35
2.3.5	Determinación de condiciones hídricas.	39
2.3.6	Estimación de condiciones Hidráulicas.....	42
2.3.7	Análisis de los resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	58
2.4	DETERMINACIÓN DE CARGA CONTAMINANTES.....	60

2.5	PERFILES DE CALIDAD PARA LOS CUERPOS HÍDRICOS PRIORIZADOS	62
2.5.1	Aforos de caudal.....	63
2.5.2	Condiciones de calidad actual	64
2.5.3	Índice de calidad para los cuerpos hídricos priorizados	72
2.5.4	Análisis de la información	74
2.5.5	Objetivos de calidad	131
2.6	USOS ACTUALES DEL RECURSO HÍDRICO	140
2.7	Análisis de los conflictos actuales de uso por calidad	142
2.8	Identificación de las zonas de recargas y descargas de acuíferos.....	152
2.8.1	Factores que intervienen en la delimitación de zona de recarga.	152
2.8.1		174
2.8.2	Delimitación de las zonas de recarga	174
2.8.1		177
2.8.2		177
2.8.3	Zonas de descarga	177
2.8.4	Estimación de la oferta hídrica.....	179
2.8.5	Análisis de la Oferta Hídrica en la Cuenca del río Chiriaoimo	218
2.9	Estudio de la demanda de agua e indicador de presión sobre el recurso hídrico superficial.....	252
2.9.1	Metodología inventario de concesiones.....	252
2.9.2	Concesiones de agua	252
2.9.3	Resultados.....	253
2.9.4	Indicadores de estado de la demanda.....	255

2.10 Determinación de riesgos asociados a la reducción de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico.....	258
---	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Valores típicos para los exponentes de las curvas de clasificación utilizadas para determinar la velocidad y profundidad del flujo.	26
Tabla N° 2. Estaciones de Muestreo	29
Tabla N° 3. Programación de la primera campaña de monitoreo en el río Chiriaimo	30
Tabla N° 4. Programación de la segunda campaña de monitoreo en el río Chiriaimo	31
Tabla N° 5. Listado de parámetros a monitorear	31
Tabla N° 6. Descripción del área hidrográfica objeto de estudio.	37
Tabla N° 7. Microcuenca correspondiente a la zona objeto de modelación.	37
Tabla N° 8. Ubicación de Puntos de Monitoreo río Chiriaimo.	38
Tabla N° 9. Estaciones de precipitación cercanas al río Chiriaimo.	39
Tabla N° 10. Régimen de precipitaciones (mm).	39
Tabla N° 11. Valores promedios mensuales de temperaturas (°C).	40
Tabla N° 12. Valores promedios mensuales de brillo solar (Horas).	40
Tabla N° 13. Valores Promedio mensuales de humedad relativa (%).	41
Tabla N° 14. Condiciones meteorológicas tomadas en campo - época seca.	41
Tabla N° 15. Condiciones meteorológicas tomadas en campo - época lluviosa. ..	41
Tabla N° 16. Parámetros morfométricos de la cuenca hasta el punto de control. .	42
Tabla N° 17. Resumen de las condiciones hidráulicas obtenidas.	54
Tabla N° 18. Cálculo de los exponentes b y coeficiente a para el cálculo de la constante Ka.	54
Tabla N° 19. Estimación de la constante Ka y tiempo de viaje.....	55
Tabla N° 20. Características hidráulicas del tramo de simulación.....	57

Tabla N° 21. Resultados de Monitoreo – Época seca.	58
Tabla N° 22. Resultados de Monitoreo - Época Lluviosa.	59
Tabla N° 23. Resultados promedio de Monitoreo – Época Seca – Época Lluviosa.	60
Tabla N° 24. Carga contaminante DBO Rio Chiriaimo	61
Tabla N° 25. Carga contaminante SST Rio Chiriaimo	61
Tabla N° 26. Caudales aforados en las estaciones de monitoreo en las campañas correspondiente a temporada seca (CAMP1) y húmeda (CAMP2).	63
Tabla N° 27. Resultados primera y segunda campaña de monitoreo coliformes totales.....	65
Tabla N° 28. Concentración de la DBO total en el rio Chiriaimo – primera campaña	67
Tabla N° 29. consigna los resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	68
Tabla N° 30. Resultados obtenidos de oxígeno disuelto (OD) en las estaciones de monitoreo del rio Chiriaimo.....	69
Tabla N° 31. Resultados obtenidos de Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	70
Tabla N° 32. Valores del pH primera 1 y 2 segunda campaña monitoreo rio Chiriaimo	71
Tabla N° 33. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP.....	73
Tabla N° 34. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col.	73
Tabla N° 35. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en Puente El Tambo, Río Chiriaimo, Cesar, Colombia.....	75
Tabla N° 36. Índices ecológicos obtenidos del ensamblaje perifítico registrado en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.	77
Tabla N° 37. Clasificación taxonómica y densidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.	77

Tabla N° 38. Índices ecológicos obtenidos del ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos registrado en el puente El Tambo, río Chiriamo, Cesar, Colombia. ...	79
Tabla N° 39. Puntaje del índice BMWP/Col obtenido de las familias de macroinvertebrados bentónicos registradas en el puente El Tambo, río Chiriamo, Cesar, Colombia.....	79
Tabla N° 40. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriamo, Cesar, Colombia.	81
Tabla N° 41. Índices ecológicos obtenidos para el ensamblaje perifítico registrado en el	82
Tabla N° 42. Clasificación taxonómica y densidad de los macroinvertebrados bentónicos registrados en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriamo, Cesar, Colombia.....	83
Tabla N° 43. Índices ecológicos obtenidos para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrada en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriamo, Cesar, Colombia	85
Tabla N° 44. Puntajes del índice BMWP/Col obtenidos para las familias de macroinvertebrados bentónicos registradas en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriamo, Cesar, Colombia.	85
Tabla N° 45. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.	87
Tabla N° 46. Índices ecológicos obtenidos del ensamblaje perifítico registrado en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.	88
Tabla N° 47. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos registradas en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.	89
Tabla N° 48. Índices ecológicos obtenidos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.	90

Tabla N° 49. Puntajes del índice BMWP/Col obtenidos para las familias de macroinvertebrados bentónicos en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriaimo, Cesar, Colombia.....	90
Tabla N° 50. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas.....	92
Tabla N° 51. Índices de diversidad aplicados a perifiton.	93
Tabla N° 52: Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados registradas.	94
Tabla N° 53. Índices de diversidad aplicados a macroinvertebrados.	96
Tabla N° 54. Puntajes BMWP/Col. para las familias de macroinvertebrados bentónicos registrados	96
Tabla N° 55. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas.....	98
Tabla N° 56. Índices de diversidad aplicados a perifiton.	99
Tabla N° 57. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados registradas.	100
Tabla N° 58. Índices de diversidad aplicados a macroinvertebrados.	102
Tabla N° 59. Puntajes BMWP/Col. para las familias de macroinvertebrados bentónicos registrados	103
Tabla N° 60. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas.....	105
Tabla N° 61. Índices de diversidad aplicados a perifiton	106
Tabla N° 62. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados registradas	107
Tabla N° 63 Índices ecológicos	109
Tabla N° 64. Puntajes BMWP/Col. para las familias de macroinvertebrados bentónicos registrados	110
Tabla N° 65. Valores DBO Lenta para época actual - Línea base.	111
Tabla N° 66. Valores de interpretación de índices de contaminación	113
Tabla N° 67 Índices de contaminación para la estación 1 en época seca.....	113

Tabla N° 68. Índices de contaminación para la estación 2 en época seca.....	114
Tabla N° 69 Índices de contaminación para la estación 3 en época seca.....	114
Tabla N° 70. Índices de contaminación para la estación 4 en época seca.....	114
Tabla N° 71. Índices de contaminación para la estación 5 en época seca.....	115
Tabla N° 72. Índices de contaminación para la estación 6 en época seca.....	115
Tabla N° 73. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época seca.....	115
Tabla N° 74. Índices de contaminación para la estación 1 en época lluviosa.	117
Tabla N° 75. Índices de contaminación para la estación 2 en época lluviosa.	117
Tabla N° 76. Índices de contaminación para la estación 3 en época lluviosa.	117
Tabla N° 77. Índices de contaminación para la estación 4 en época lluviosa.	118
Tabla N° 78. Índices de contaminación para la estación 5 en época lluviosa	118
Tabla N° 79. Índices de contaminación para la estación 6 en época lluviosa.	119
Tabla N° 80. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época lluviosa.	119
Tabla N° 81. Índice de Calidad del Agua (ICA) en época lluviosa seca.	120
Tabla N° 82. Cálculo para el índice de Langelier.	124
Tabla N° 83. Parámetros e Índice de Langelier, estación 1 en época seca.	124
Tabla N° 84. Parámetros e Índice de Langelier, estación 2 en época seca.	125
Tabla N° 85. Parámetros e Índice de Langelier, estación 3 en época seca.	125
Tabla N° 86. Parámetros e Índice de Langelier, estación 4 en época seca.	126
Tabla N° 87. Parámetros e Índice de Langelier, estación 5 en época seca.	126
Tabla N° 88. Parámetros e Índice de Langelier, estación 6 en época seca.	126
Tabla N° 89. Índice de Langelier por estaciones en época seca.....	127
Tabla N° 90. Parámetros e Índice de Langelier, estación 1 en época lluviosa	127
Tabla N° 91. Parámetros e Índice de Langelier, estación 2 en época lluviosa	128
Tabla N° 92. Parámetros e Índice de Langelier, estación 3 en época lluviosa	128
Tabla N° 93. Parámetros e Índice de Langelier, estación 4 en época lluviosa. ...	129
Tabla N° 94. Parámetros e Índice de Langelier, estación 5 en época lluviosa. ...	129
Tabla N° 95. Parámetros e Índice de Langelier, estación 6 en época lluviosa. ...	129
Tabla N° 96 Índice de Langelier por estaciones en época lluviosa	130
Tabla N° 97. Índice de saturación de Langelier en época lluviosa y seca.....	130

Tabla N° 98. Agrupación de usos del agua y determinación de convenciones. ..	132
Tabla N° 99. Concentraciones máximas permisibles teniendo en cuenta el uso del agua actual y futuro.	133
Tabla N° 100. Normatividad Colombiana.	134
Tabla N° 101. Normatividad y estándares internacionales.	134
Tabla N° 102. Acuerdos mexicanos.	135
Tabla N° 103. Objetivos de calidad por categoría de los parámetros seleccionados.	136
Tabla N° 104. Establecimiento de categorías actuales de calidad del agua por estación de monitoreo.	138
Tabla N° 105. Categorización a corto, mediano y largo plazo.	138
Tabla N° 106. Objetivos de calidad – Corto plazo	139
Tabla N° 107. Objetivos de calidad – Mediano plazo.	139
Tabla N° 108. Objetivos de calidad – Largo plazo.	139
Tabla N° 109 Usos actuales del recurso hídrico	140
Tabla N° 110 Ponderación de los CpA.	147
Tabla N° 111. Criterios de ponderación para análisis de CpA.	148
Tabla N° 112 Conflictos por uso del agua	151
Tabla N° 113. Clasificación del componente geológico.	158
Tabla N° 114. Clasificación del componente del suelo según su aptitud de recarga.	161
Tabla N° 115. Clasificación componente potencial de acuífero.	164
Tabla N° 116. Clasificación para el componente de pendiente y topografía.	167
Tabla N° 117. Clasificación del componente de coberturas vegetales según su aptitud de recarga.	170
Tabla N° 118. Reclasificación de las zonas de recargas.	174
Tabla N° 119 Registro de estaciones de consulta.	179
Tabla N° 120 Valores de los parámetros estadísticos a nivel mensual, estación San José de Oriente	182

Tabla N° 121 Variables estadísticas, análisis anual – estación San José de Oriente	183
Tabla N° 122 Relación de los fenómenos de la Niña y los períodos de riqueza Pluviométrica.....	184
Tabla N° 123 Relación de los fenómenos de Niño y los períodos secos	185
Tabla N° 124 Cálculo de la precipitación media multianual de la Microcuenca... ..	186
Tabla N° 125 Datos estadísticos de temperatura multianual, estación San José de Oriente	190
Tabla N° 126 Cálculo de la temperatura media anual de la microcuenca	191
Tabla N° 127 Datos estadísticos de temperatura multianual, Estación San José de Oriente.	194
Tabla N° 128 Variables para el cálculo del Balance Hidrológico	196
Tabla N° 129. Condiciones para utilizadas para el cálculo del índice de humedad	206
Tabla N° 130. Tipos de Humedad	206
Tabla N° 131. Tipos de evapotranspiración potencial o eficacia térmica (ETP), utilizados para definir los tipos de humedad.....	207
Tabla N° 132. Tipos de concentración estival	207
Tabla N° 133. Cálculo del balance hídrico para años con régimen pluviométrico medio.	212
Tabla N° 134. Calculo del balance hídrico para años con régimen pluviométrico seco.....	212
Tabla N° 135. Valores de evapotranspiración anual calculados.	214
Tabla N° 136. Indicadores índices de aridez. IDEAM.....	215
Tabla N° 137. Estación IDEAM utilizada para suministrar información a los puntos Worldclim.....	219
Tabla N° 138. Resumen Estadístico para Precipitación.	221
Tabla N° 139. ANOVA para la precipitación del mes de enero.	222
Tabla N° 140. Medias de Precipitación con intervalos de confianza del 95.0% ..	222
Tabla N° 141. Pruebas de múltiples rangos para la precipitación	223

Tabla N° 142. Verificación de Varianza.....	225
Tabla N° 143 . Precipitaciones por periodos	226
Tabla N° 144. Parámetros de entrada para las curvas IDF (intensidad - duración - frecuencia).....	228
Tabla N° 145. Parámetro n dependiente de la intensidad de las lluvias.....	229
Tabla N° 146. Características físicas de cada una de las Microcuencas (obtenidos por el componente climatológico) de la microcuenca del río Chiriaimo.....	233
Tabla N° 147. Resultados físicos de cada Microcuenca	233
Tabla N° 148 Numero de curva de escorrentía para tierras cultivadas.	235
Tabla N° 149. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la Microcuenca Riecito	237
Tabla N° 150. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la Microcuenca Alta.....	238
Tabla N° 151. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la Microcuenca Media	238
Tabla N° 152. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la Microcuenca Baja.....	239
Tabla N° 153. Tiempos de concentración (en minutos) para los diferentes modelos analizados, resultados suministrados por el componente climatológico.	241
Tabla N° 154. Resultados globales de caudal para un periodo de retorno de 2 años en el mes de enero para la microcuenca del río Chiriaimo.	245
Tabla N° 155. Resultados globales de caudal para un periodo de retorno de 25 años en el mes de Enero para la microcuenca del río Chiriaimo.	248
Tabla N° 156. Datos de caudal insertado para correr el modelo.....	249
Tabla N° 157. Resultados generales de caudal para 2 años desde el mes de enero hasta el mes de junio.	249
Tabla N° 158. Resultados generales de caudal para 2 años desde el mes de julio hasta el mes de diciembre.....	250
Tabla N° 159. Resultados generales de caudal para 25 años desde el mes de enero hasta el mes de junio.	250

Tabla N° 160. Resultados generales de caudal para 25 años desde el mes de julio hasta el mes de diciembre.....	251
Tabla N° 161. Usos y caudales	253
Tabla N° 162. Rangos y categorías del Índice de regulación hídrica	256
Tabla N° 163. Balance entre oferta y demanda, necesario para estimar el IUA .	256
Tabla N° 164. Categorización de los tramos del rio Chiriaimo con el IUA.	256
Tabla N° 165. Matriz para categorizar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico.....	257
Tabla N° 166. Categorías de amenaza y vulnerabilidad para estimar el riesgo por reducción de la oferta hídrica.	258
Tabla N° 167 Regla de decisión para el riesgo asociado a la reducción de la oferta hídrica.	259



FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

LISTADO DE MAPAS

Mapa N° 1. Tramos de análisis PORH corriente Rio Chiriaoimo.....	21
Mapa N° 2. Puntos de muestreo de agua superficial	32
Mapa N° 3. Tramos del rio Chiriaoimo	36
Mapa N° 4. Subzonas hidrográficas pertenecientes al departamento del Cesar. .	36
Mapa N° 5. Mapa temático de alturas (metros) o DEM.	43
Mapa N° 6. Mapa de pendientes – área de influencia.....	56
Mapa N° 7. Mapa de usos actuales del recurso hídricos por tramos de análisis	141
Mapa N° 8. Modelo de elevación digital del terreno de la Cuenca Chiriaoimo.	154
Mapa N° 9. Condiciones climatológicas (Temperatura media) Cuenca Chiriaoimo.	155
Mapa N° 10. Condiciones climatológicas (Precipitación anual) Cuenca Chiriaoimo.	156
Mapa N° 11. Mapa geológico para la Cuenca Chiriaoimo.....	159
Mapa N° 12. Mapa geológico clasificado según su aptitud para recarga.	160
Mapa N° 13. Suelos de la cuenca Chiriaoimo.	162
Mapa N° 14. Clasificación del componente de suelo.	163
Mapa N° 15. Potencial de acuífero de la cuenca Chiriaoimo.	165
Mapa N° 16. Clasificación potencial de acuífero de la cuenca Chiriaoimo.....	166
Mapa N° 17. Mapa de pendientes de la cuenca Chiriaoimo.....	168
Mapa N° 18. Clasificación del mapa de pendiente de la cuenca Chiriaoimo.....	169
Mapa N° 19. Mapa de cobertura vegetal de la cuenca Chiriaoimo.....	172
Mapa N° 20. Clasificación del mapa de coberturas vegetales de la cuenca Chiriaoimo.	173
Mapa N° 21. Mapa de delimitación de zonas de recarga de la cuenca Chiriaoimo.	176
Mapa N° 22. Potenciales zonas de descarga en la cuenca Chiriaoimo.	178
Mapa N° 23 Distribución Espacial Media Multianual de la Precipitación en la Microcuenca del río Chiriaoimo (mm/año).....	187

Mapa N° 24 Distribución espacial de la temperatura media mensual en Grados Centígrados (°C)	192
Mapa N° 25. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial anual en la Microcuenca (mm/año).....	201
Mapa N° 26. Distribución espacial del déficit de agua en el suelo en la cuenca (mm/año)	202
Mapa N° 27. Distribución especial de los excesos de agua en el suelo.....	203
Mapa N° 28. Distribución espacial del almacenamiento anual de agua en el suelo (mm/año)	204
Mapa N° 29. Distribución espacial del índice de humedad lh en la cuenca.	209
Mapa N° 30. Distribución espacial del índice de aridez (la) en la Microcuenca .	210
Mapa N° 31. Distribución espacial del índice de humedad global (lm) en la Microcuenca	211
Mapa N° 32. Mapa del índice de aridez, metodología IDEAM en mm/año.....	216
Mapa N° 33. Ubicación de puntos de precipitación DIVA – GIS sobre la sub cuenca del Río Chiriaimo.....	220
Mapa N° 34. Identificación de las microcuenca con las que cuenta el rio Chiriaimo.	232
Mapa N° 35. Modelo hidrológico generado por el programa HEC – HMS:.....	242
Mapa N° 36. Riesgos asociados a la oferta hídrica.....	260

LISTADO DE GRAFICAS

Grafica N° 1. Protocolo de Modelación de la Calidad de Aguas Superficiales.	24
Grafica N° 2. Histograma de precipitaciones del área objeto de estudio.....	40
Grafica N° 3. Curva de calibración hidráulica.	56
Grafica N° 4. Caudales Rio Chiriamo campaña de monitoreo 1 y 2	64
Grafica N° 5. CAMPAÑA No 1.....	66
Grafica N° 6. CAMPAÑA No 2.....	66
Grafica N° 7. Densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el puente El Tambo, río Chiriamo, Cesar, Colombia.	76
Grafica N° 8. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados bentónicos en el puente El Tambo, río Chiriamo, Cesar, Colombia.	78
Grafica N° 9. Densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriamo, Cesar, Colombia.	82
Grafica N° 10. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados bentónicos registrados en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriamo, Cesar, Colombia.....	84
Grafica N° 11. Densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.....	88
Grafica N° 12. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados bentónicos registrados en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.....	89
Grafica N° 13. Representatividad específica de los phylum de la comunidad perifítica registradas.....	92
Grafica N° 14. Densidad y riqueza de la comunidad de macroinvertebrados	95
Grafica N° 15. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados registrados.....	95
Grafica N° 16. Representatividad específica de los phylum de la comunidad perifítica registradas.....	98
Grafica N° 17. Densidad y riqueza de la comunidad perifítica	99

Grafica N° 18. Densidad y riqueza de la comunidad de macroinvertebrados	101
Grafica N° 19. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados registrados.....	101
Grafica N° 20. Representatividad específica de los phylum de la comunidad perifítica registradas.....	105
Grafica N° 21. Densidad y riqueza de la comunidad perifítica	106
Grafica N° 22. Densidad y riqueza de la comunidad de macroinvertebrados.....	108
Grafica N° 23. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados registrados	108
Grafica N° 24. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época seca.	116
Grafica N° 25. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época lluviosa.....	119
Grafica N° 26. Índice de Calidad del Agua (ICA) en época lluviosa y seca.	120
Grafica N° 27 Índice de calidad del agua vs concentraciones.....	121
Grafica N° 28. Índice de Langelier por estaciones en época seca.	127
Grafica N° 29. índice de Langelier por estaciones en época lluviosa.	130
Grafica N° 30. Índice de saturación de Langelier en época lluviosa y seca.	131
Grafica N° 31 Tipos de conflictos por el agua – Cepal.	145
Grafica N° 32 Tipología CpA PORH del rio Chiriaimo.	149
Grafica N° 33 Histograma de Precipitación Media Mensual Multianual Estación San José de Oriente 1984-1997	180
Grafica N° 34 Número de Días de Lluvia Estación San José de Oriente	181
Grafica N° 35 Valores medios, mínimos, máximos y Coeficiente Relativos de ANGOT mensuales, estación San José de Oriente.	183
Grafica N° 36 Distribución cronológica de la precipitación Media Anual, Estación San José de Oriente.....	184
Grafica N° 37 Valores medios de Temperatura Estación San José de Oriente ..	188
Grafica N° 38 Climograma de la estación San José de Oriente, Microcuenca del río Chiriaimo.	189
Grafica N° 39 Distribución temporal de la temperatura media anual, estación San José de Oriente	190

Grafica N° 40 Diagrama de frecuencia de humedad relativa y temperatura media en la Estación San José de Oriente.	193
Grafica N° 41 Diagramas de Frecuencia de Precipitación y Brillo Solar Mensual Multianual, Estación San José de Oriente	194
Grafica N° 42. Balance hídrico, régimen de precipitación normal, Estación San José de Oriente.....	213
Grafica N° 43. Balance hídrico, régimen de precipitación seco, Estación San José de Oriente.....	214
Grafica N° 44. Gráfica de Medias.....	223
Grafica N° 45. Gráfica de caja y bigotes.	224
Grafica N° 46. Curva IDF para el 1 periodo.....	230
Grafica N° 47. Hietograma para el periodo 1 con Tr de 2 años.....	230
Grafica N° 48. Hietograma para el periodo 1 con Tr de 25 años.....	231
Grafica N° 49. Resultado de flujo para la microcuenca del río Riecito en el mes de enero con un retorno 2 años.	243
Grafica N° 50. Resultado de flujo para la microcuenca Alta del río Chiriaiimo en el mes de enero con un retorno 2 años.....	244
Grafica N° 51. Resultado de flujo para la microcuenca Media del río Chiriaiimo en el mes de enero con un retorno 2 años.....	244
Grafica N° 52. Resultado de flujo para la microcuenca Baja del río Chiriaiimo en el mes de enero con un retorno 2 años.....	245
Grafica N° 53. Resultado de flujo para la microcuenca del río Riecito en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.....	246
Grafica N° 54. Resultado de flujo para la microcuenca Alta del río Chiriaiimo en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.....	246
Grafica N° 55. Resultado de flujo para la microcuenca Media del río Chiriaiimo en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.....	247
Grafica N° 56. Resultado de flujo para la microcuenca Baja del río Chiriaiimo en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.....	247
Grafica N° 42. Caudal concesionado	253

Grafica N° 43. Caudal sin concesión.....	254
--	-----

LISTADO DE IMAGENES

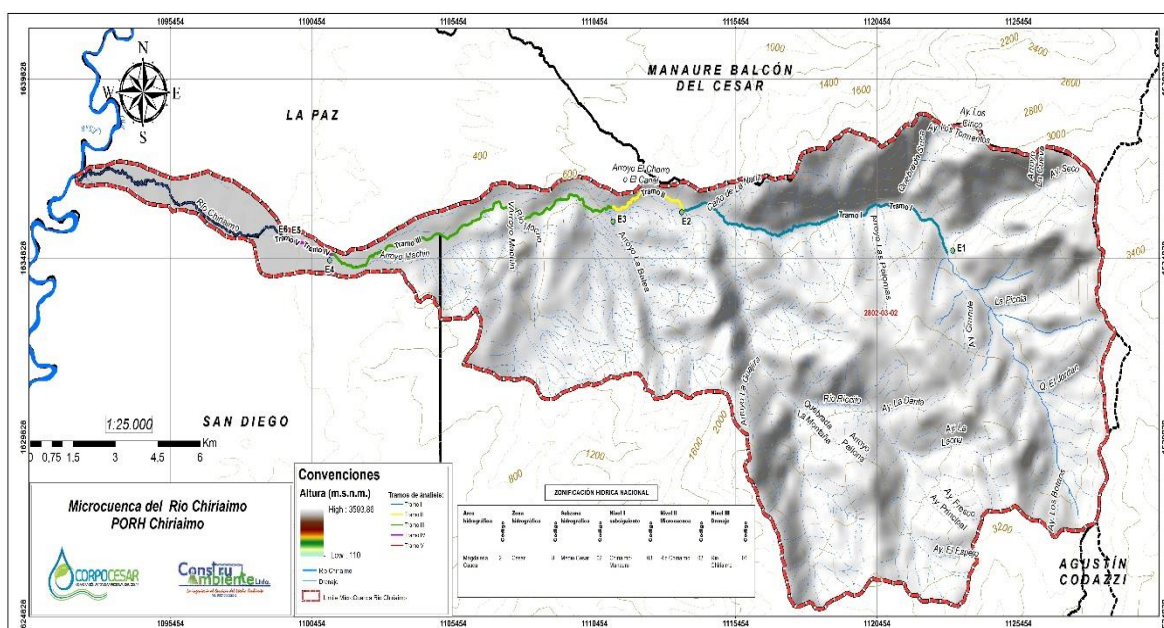
Imagen N° 1. Pantalla de inicio Hec-GeoRAS.....	43
Imagen N° 2. Ingreso del DEM modelo hidráulico Hec – GeoRAS.	44
Imagen N° 3. Exporte de geometría - Hidráulica.	45

2.1 DEFINICIÓN DE TRAMOS DE ANALISIS

Para la definición de los tramos de análisis se tuvo en cuenta la simiralidad de esto desde el punto de vista hidrológico, hidráulico, geomorfológico, ecológico de usos de agua y del suelo, calidad del recurso hídrico.

Respecto a lo anterior se definieron 5 tramos de análisis, entre los puntos de monitoreo que para ser elegido tuvieron cuenta los parámetros anteriormente mencionados.

Mapa N° 1. Tramos de análisis PORH corriente Rio Chiriaimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.2 ESTRUCTURA CONCEPTUAL PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL CUERPO DE AGUA

2.2.1 Marco Conceptual

Para realizar la modelación de calidad del agua de los tramos del Rio Chiriaimo, afectados por los vertimientos de aguas residuales efectuados por los diferentes usuarios, se implementó el modelo QUAL2Kw en su versión 5.1, con la calibración previa de los principales parámetros físicos, químicos, microbiológicos, entre estos tenemos: pH, temperatura del agua, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos

totales, demanda biológica de oxígeno (rápida y lenta), oxígeno disuelto, nitratos; amonio, ortofosfatos, patógenos (Coliformes fecales – Escherichiacoli) y alcalinidad. Las corrientes de agua superficial están expuestas al vertimiento continuo de residuos de diferente naturaleza, estos pueden afectar los ecosistemas acuáticos, la salud pública y el paisaje, limitando los usos y disponibilidad del agua. Esta modelación es una técnica de análisis que reproduce una serie de eventos que a través del manejo de ecuaciones matemáticas simulan el comportamiento de cada variable de calidad de aguas en un tramo de interés. Los resultados de la modelación permiten evaluar el grado de contaminación, además de definir los usos del recurso, información clave para tomar decisiones en el contexto ambiental en aras de identificar fuentes de contaminación, estudiar los efectos asociados al vertimiento de aguas residuales (puntuales y difusas), diseñar infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales y, evaluar la efectividad y eficiencia de las medidas desarrolladas para el control de la contaminación. En el contexto de la evaluación ambiental de vertimientos, la modelación de calidad de aguas permitirá estimar la capacidad de asimilación de la corriente asociadas a las características físicas, químicas, biológicas e hidráulicas de la fuente de agua superficial.

Un modelo de calidad de aguas, es una herramienta que permite representar las condiciones físicas, químicas, microbiológicas e hidráulicas de un sistema hídrico, en este caso, de una corriente de agua superficial, evaluando a partir de la simulación de escenarios el comportamiento de la corriente. Utiliza como datos de entrada: las condiciones hidráulicas e hidrológicas del sistema, parámetros de calidad de la corriente, tasas, constantes, etc. El objetivo principal de la modelación de calidad de aguas en cada tramo de interés, es determinar el estado actual de la calidad del agua, y cómo influye el vertimiento de aguas residuales domésticas y no domésticas en el mismo. Se consideran constantes las características físicas, químicas, microbiológicas e hidráulicas de los principales tributarios. Para ello se seleccionó el modelo de calidad del agua QUAL2Kw en su versión 5.1, que presenta las siguientes ventajas:

- Está bien documentado (cuenta con manuales de usuario).
- Es de distribución gratuita.
- Está en formato de Microsoft Excel lo que facilita el manejo e ingreso de datos.
- Es posible acoplar dentro del algoritmo de cálculo rutinas de análisis de sensibilidad de variables referidas a parámetros numéricos, lo que facilita la calibración del modelo.

2.2.1.1 Modelo de simulación Qual2kw versión 5.1

QUAL2Kw es un modelo matemático mediante el cual se determina la evolución física, química, microbiológica e hidráulica de una corriente; considera el contenido de materia orgánica biodegradable que se vierte en un punto de la misma, la

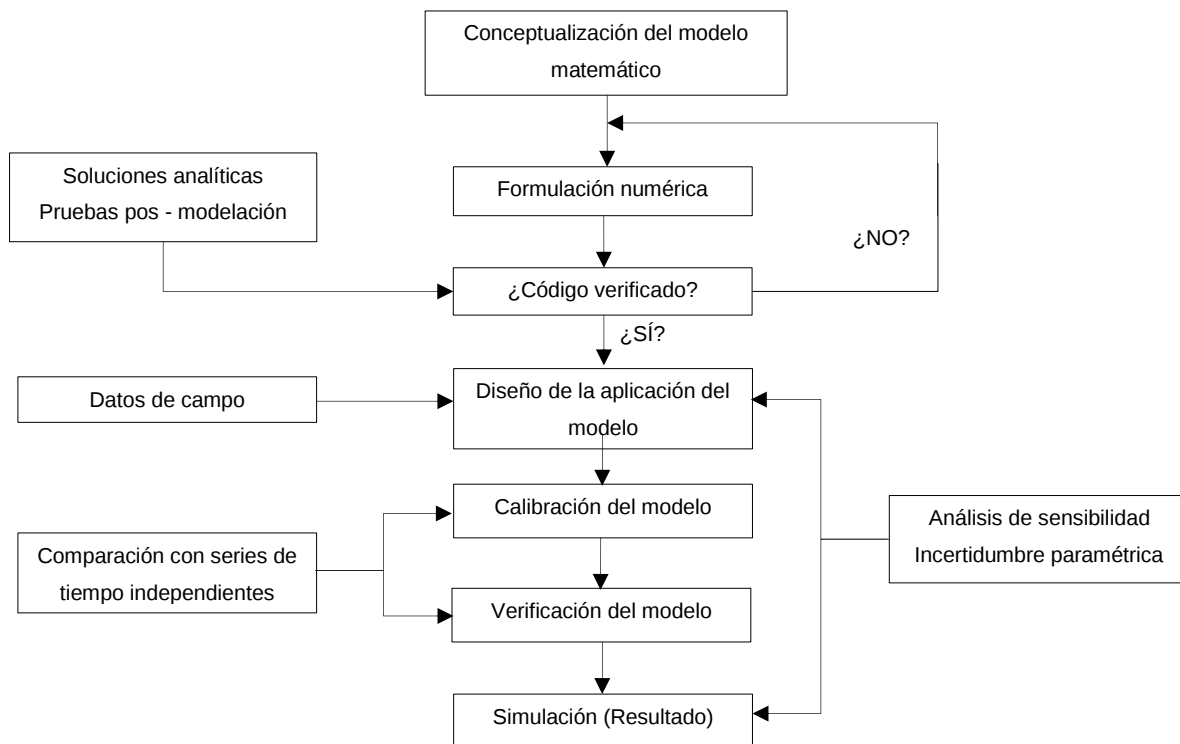
concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad, conductividad eléctrica, pH, temperatura, el contenido de patógenos, de nitrógeno y fósforo en sus especies orgánicas e inorgánicas, además de los sólidos suspendidos, entre otros. *QUAL2Kw* es un software desarrollado para estudios de ríos y corrientes, con las siguientes características:

- Modelo unidimensional: El canal se encuentra bien mezclado tanto vertical como horizontalmente y se modela únicamente en la dirección del flujo.
- Hidráulica estable: Se simula el flujo en estado estable (permanente) y no uniforme.
- Variación diaria del calor: El calor del volumen de agua y la temperatura son simulados como función de aspectos meteorológicos en una escala de variación diaria (24 horas).
- Cinética diaria de la calidad del agua: Todas las variables de la calidad del agua son simuladas en escala de tiempo diaria (24 horas).
- Entradas de calor y de masa al sistema: Se simulan vertimientos y extracciones puntuales y no puntuales.
- Anoxia: Ajusta la anoxia mediante la reducción de las reacciones de oxidación a cero, considerando bajos niveles de oxígeno.
- Interacciones agua-sedimentos: Los flujos de agua-sedimentos, de oxígeno disuelto y de nutrientes pueden ser simulados. Es decir, el oxígeno (demanda béntica de oxígeno) y los flujos de nutrientes son simulados como función del asentamiento de la materia orgánica particulada.
- Patógenos: Se simula un patógeno genérico. La remoción de patógenos se determina como una función de la temperatura, luz y asentamiento.
- Vertederos naturales y cascadas: La hidráulica de los vertederos y cascadas, así como su efecto en la transferencia de gases se incluyen de manera explícita.

El modelo numérico de *QUAL2Kw*, está programado en FORTRAN 90, con una interfaz gráfica compilada en Visual Basic for Applications. En el *QUAL2Kw*, las corrientes principales se segmentan con base en sus características hidráulicas (pendiente, ancho, profundidad y rugosidad).

En cada hoja de cálculo de la interfaz gráfica, se ingresan los datos correspondientes a la corriente principal, tributarios, fuentes puntuales y difusas, siguiendo lo estipulado en el Protocolo para la Modelación de Aguas Superficiales, como lo muestra el siguiente flujograma:

Gráfica N° 1. Protocolo de Modelación de la Calidad de Aguas Superficiales.



Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

2.2.2 Marco Conceptual de la Modelación.

Un modelo de calidad de aguas, es una herramienta que permite representar las condiciones físicas, químicas, microbiológicas e hidráulicas de un sistema hídrico, en este caso, de una corriente de agua superficial, evaluando a partir de la simulación de escenarios el comportamiento de la corriente. Utiliza como datos de entrada: las condiciones hidráulicas e hidrológicas del sistema, parámetros de calidad de la corriente, tasas, constantes, etc. El objetivo principal de la modelación de calidad de aguas en el tramo de interés de la fuente receptora, es determinar el estado actual de la calidad del agua, y la manera en que influye el vertimiento de aguas residuales domésticas en el mismo.

Como ya se mencionó, se consideran constantes las características físicas, químicas, microbiológicas e hidráulicas de los principales tributarios. Para ello se seleccionó el modelo de calidad del agua *QUAL2Kw*, debido a las siguientes ventajas:

- Buen grado de documentación (manuales de usuario).

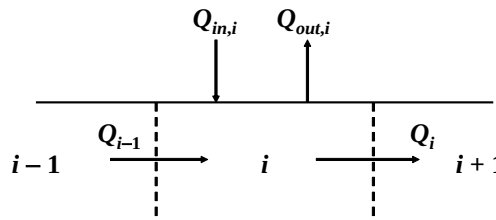
- Gratuidad.
- Diseñado en formato de Microsoft Excel, lo que facilita el manejo e ingreso de datos.
- Permite acoplar dentro del algoritmo de cálculo rutinas de análisis de sensibilidad de variables referidas a parámetros numéricos, facilitando la calibración del modelo.

2.2.3 Modelo Conceptual del Caudal.

QUAL2Kw resuelve las ecuaciones de flujo en condiciones de estado estable, en donde se cumple que:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i}$$

Donde Q_i , es el flujo del segmento i al segmento aguas abajo ($i + 1$) en m^3/s , Q_{i-1} es el flujo del elemento aguas arriba ($i - 1$), Q_{in} es el flujo que ingresa al elemento i de las fuente puntuales y difusas y, Q_{out} , es el flujo que sale del sistema i como resultado de fuentes puntuales y difusas.



Fuente: (Pelletier, 2006).

2.2.4 Curva de Gastos.

Se pueden utilizar ecuaciones empíricas para relacionar la velocidad media y la profundidad con el caudal para los elementos de un tramo.

$$U = aQ^b$$

$$H = \alpha Q^\beta$$

Donde a , b , α y β son coeficientes empíricos que se determinan a partir de la correlación entre la velocidad y el nivel de descarga, respectivamente. Los valores de la velocidad y la profundidad pueden ser empleados para determinar el área transversal y el ancho:

$$Ac = \frac{Q}{U}$$

$$B = \frac{Ac}{H}$$

El área superficial y el volumen del elemento pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$As = B\Delta x$$

$$V = BH\Delta x$$

Los exponentes b y β suelen presentar valores descritos en la Tabla N° 1. Hay que tener en cuenta que la suma de b y β debe ser menor o igual a 1. Si esto no se cumple, el ancho disminuye con el aumento del caudal. Si la suma es igual a 1, el canal es rectangular.

Tabla N° 1. Valores típicos para los exponentes de las curvas de clasificación utilizadas para determinar la velocidad y profundidad del flujo.

Ecuación	Exponente	Valor Típico	Rango
$U = aQ^b$	b	0,43	0,4 – 0,6
$H = \alpha Q^\beta$	β	0,45	0,3 – 0,5

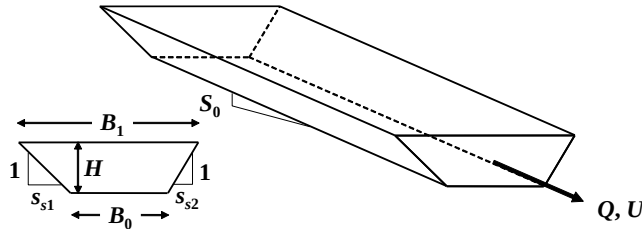
Fuente: (Pelletier, 2006).

2.2.5 Características Hidráulicas.

Una vez se define el caudal de cada segmento, la profundidad y velocidad del mismo puede ser calculada utilizando la ecuación de Manning, para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones: Cada segmento en particular es idealizado como un canal trapezoidal, bajo condiciones de flujo en estado estable, la ecuación de Manning puede ser expresada como la relación entre el caudal y la profundidad, así:

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{A_c^{5/3}}{P^{2/3}}$$

Donde Q es el caudal en m^3/s , S_0 la pendiente del lecho en m/m , n el coeficiente de rugosidad y A_c el área de la sección transversal. De acuerdo con el tipo de canal (natural o artificial) se definen los intervalos de variación del coeficiente de rugosidad.



Fuente: (Pelletier, 2006).

Las características hidráulicas de los segmentos pueden ser establecidas a partir de curvas de calibración H vs Q y, V vs Q , así:

$$H = \alpha Q^\beta$$

$$V = \mu Q^\theta$$

Donde H y V , son respectivamente la lámina promedio y velocidad media del segmento. En cada segmento establecido, el modelo numérico resuelve simultáneamente y para cada constituyente, la siguiente ecuación:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i$$

Donde W_i , es la carga externa del constituyente en el segmento i y, S_i se asocia al consumo o generación del constituyente como consecuencia de reacciones químicas y mecanismos de transferencia de masa.

2.2.6 Coeficiente de Reaireación.

La saturación de oxígeno en el medio puede ser calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\ln o_s(T, 0) = -139.34411 + \frac{1.575701 \times 10^5}{T_a} + \frac{1.243800 \times 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 \times 10^{11}}{T_a^4}$$

Donde:

$$T_a = T + 273.15$$

El efecto de la elevación está definido por:

$$o_s(T, elev) = e^{\ln o_s(T, 0)} (1 - 0.0001148 \text{ elev})$$

El coeficiente de reaireación (k , 1/d) se determina a partir de correlaciones hidráulicas como una función de la velocidad promedio del fluido ($\underline{U}$, m/s) y la profundidad media del canal segmento a segmento ($\underline{H}$, $\underline{m}$). A continuación, se relacionan los principales modelos de reaireación:

O'Connor-Dobbins (O'Connor and Dobbins 1958)

$$k_{ah}(20) = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}}$$

Churchill (Churchill et al. 1962)

$$k_{ah}(20) = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}}$$

Churchill (Churchill et al. 1962)

$$k_{ah}(20) = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}}$$

Owens-Gibbs (Owens et al. 1964):

$$k_{ah}(20) = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}}$$

Los modelos de reaireación son utilizados con base en los siguientes criterios:

Si, $\underline{H} < 0,61$ m, usar la fórmula de Owens - Gibbs.

Si, $\underline{H} > 0,61$ m y $H > 3,45U^{2.5}$ usar la fórmula de O'Connor - Dobbins.

En otros casos se puede usar la fórmula Churchill.

Las cinéticas de reacción anteriormente descritas, fueron establecidas para una temperatura del agua de 20°C, por lo cual el valor calculado debe ser corregido utilizando la siguiente ecuación:

$$k_T = k_{20} \theta^{T-20}$$

La tasa de sedimentación de acuerdo con Chapra (1997) puede ser estimada en función de la velocidad de sedimentación de la materia orgánica y la profundidad del fluente, así:

$$k_s = \frac{V_s}{H}$$

2.2.7 Aplicación del modelo Qual2kw

QUAL2Kw requiere el preprocesamiento del siguiente conjunto de datos:

- Geometría del tramo de análisis (segmentación)
- Condiciones iniciales (hidráulicas y fisicoquímicas)
- Parámetros hidrodinámicos
- Parámetros cinéticos
- Datos de calibración
- Tiempos de modelación

En aras de determinar las condiciones actuales de calidad de agua de las fuentes de agua superficial asociadas a la Microcuenca del río Chiriamo, se definen las siguientes características, físicas, químicas, microbiológicas, hidráulicas y geométricas del tramo de interés.

2.3 PLAN DE MONITOREO EN EL CUERPO DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO

Para realizar el plan de monitoreo del agua de la Microcuenca asociada al Río Chiriamo, se desarrollaron dos campañas de monitoreo en la fuente de agua superficial. Se analizaron en total 6 estaciones de monitoreo a lo largo de la corriente natural. En la Tabla N° 2 se presenta la localización espacial de los puntos de monitoreo de la fuente de agua superficial.

Tabla N° 2. Estaciones de Muestreo

ESTACION	ESTACIÓN	RIO	TIPO MUESTRA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
1	Puente el Tambo	Chiriamo	Puntual	1123141	1635042
2	Cancha Tricolor	Chiriamo	Puntual	1113549	1636114
3	Puente la Vega	Chiriamo	Puntual	1111121	1635856
4	Finca la Parrilla	Chiriamo	Puntual	1101090	1634770
5	La Estancia	Chiriamo	Puntual	1099530	1635405
6	Inicio Muro De Contención	Chiriamo	Puntual	1099739	1635363

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

El monitoreo de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento, fue abordado conforme a los lineamientos establecidos en la Guía Técnica para la Formulación

de PORH (MADS, 2014), respetando el orden de confluencia y guardando los tiempos de viaje de referencia. La metodología seguida para lograr hacer seguimiento a la misma masa de agua, respetando los tiempos de viaje durante las campañas de monitoreo, consistió en corroborar, al inicio de cada jornada y para cada punto de la red localizado aguas abajo, la velocidad de la corriente con respecto a la distancia entre puntos consecutivos. Una vez verificado esto, se efectuó la toma de muestras conforme al tiempo obtenido.

Adicionalmente, se tuvo en cuenta las zonas de mezcla, las cuales, según la normatividad (Resolución 0631 de 2015), se alcanzan en aproximadamente 100 metros, encontrándose condiciones de mezcla completa en casi todos los puntos analizados debido a las condiciones de homogeneidad del cauce.

Conforme a esto, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las campañas de monitoreo realizadas sobre el cuerpo de agua priorizado, para dar cumplimiento al objetivo de caracterizar el recurso hídrico del río Chiriaoimo.

2.3.1 Primera campaña de monitoreo

Teniendo en cuenta la información suministrada por Corpocesar y la obtenida luego de las salidas de reconocimiento de las 6 estaciones en la fuente superficial río Chiriaoimo, se realizó la primera campaña de monitoreo entre los días 24 de Junio y 25 de Junio de 2019, correspondiente a temporada hidrológica seca.

La campaña de monitoreo fue desarrollada por una comisión de profesionales del Laboratorio Nancy Flórez García S.A.S., encargada de realizar la toma de muestras fisicoquímicas, microbiológicas así como las hidrobiológicas en los puntos de monitoreo previamente asignados por Corpocesar.

Cabe resaltar que este proyecto no contemplaba la toma de muestras en vertimientos puntuales.

Tabla N° 3. Programación de la primera campaña de monitoreo en el río Chiriaoimo

MICROCUENCA	FECHA	ESTACIONES DE MONITOREO
Rio Chiriaoimo	24/06/2019	1-2-3
	25/06/2019	4-5-6

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.3.2 Segunda campaña de monitoreo

La segunda campaña de monitoreo de toma de muestras se desarrolló en las mismas 6 estaciones dispuestas sobre el río Chiriaoimo, se realizó entre los días 24

de Julio y 25 de Julio de 2019, correspondiente a temporada hidrológica húmeda. El plan de monitoreo al que estuvo sujeta dicha campaña se presenta en la Tabla N° 4

Tabla N° 4. Programación de la segunda campaña de monitoreo en el río Chiriaimo

MICROCUEENCA	FECHA	ESTACIONES DE MONITOREO
Rio Chiriaimo	24/07/2019	1-2-3
	25/07/2019	4-5-6

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La campaña de monitoreo fue desarrollada por una comisión de profesionales del Laboratorio Nancy Flórez García S.A.S., encargada de realizar la toma de muestras fisicoquímicas, microbiológicas así como las hidrobiológicas en los puntos de monitoreo previamente asignados por Corpocesar, en el Anexo N° 1 del presente documento se presentan los formatos con los resultados de las jornadas de toma de muestras y el registro fotográfico efectuado para cada una de las dos campañas de monitoreo.

Tabla N° 5. Listado de parámetros a monitorear

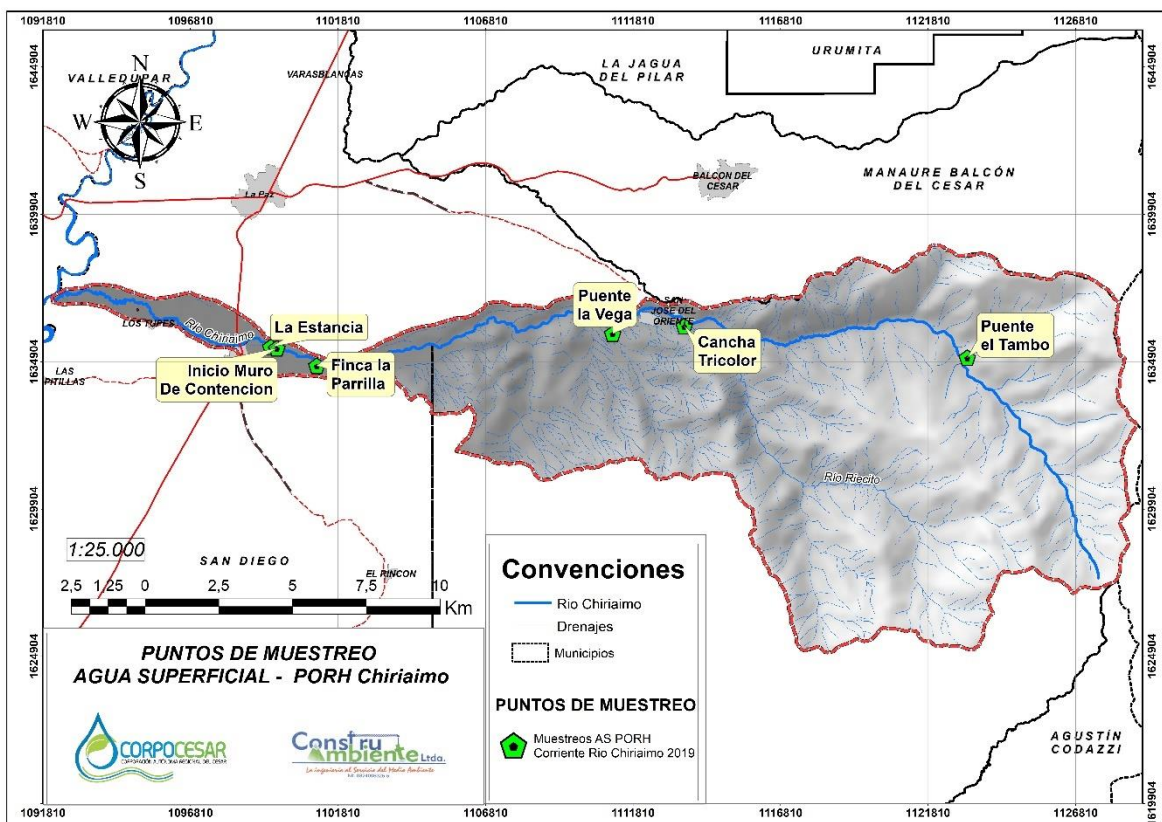
ÍTEM	PARAMETROS	N.I
1	Nitrógeno total Kjeldahl (mgN/L)	1
2	Nitratos (mgNO ₃ /L)	1
3	Nitrógeno amoniacal (mgNH ₃ /L)	1
4	Nitritos (mgNO ₂ /L)	1
5	Fósforo total (mgP/L)	1
6	Ortofosfatos [mg/L P-PO]	1
7	Coliformes totales (NMP/100mL)	1
8	Coliformes termotolerantes [NMP/100mL]	1
9	Clorofila-a [mg/L Chl-a]	1
10	Oxígeno disuelto –OD- (mg/L)	1
11	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1
12	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	1
13	Conductividad (µS/cm)	1
14	Temperatura del agua (°C)	1
15	pH	1
16	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	1
17	DBO Total (mgO ₂ /L)	1
18	DBO5 Filtrada	1
19	DBO última	1
20	DQO5 Total	1
21	Grasas y aceites [mg/L]	3
22	Dureza (mgCaCO ₃ /L)	3
23	Sólidos disueltos totales (mg/L)	3
24	Sólidos sedimentables [mL/L]	3
25	SAAM [mg/L]	3
26	Fenoles [mg/L]	3
27	Hidrocarburos totales del petróleo [mg/L]	3

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

28	Cloruros [mg/L Cl-]	3
29	Sulfatos [mg/L SO ₂ -]	3
30	Turbiedad (UNT)	3
31	Perifiton [Org/cm ²], [µg/m ² Chl-a] y [g/m ² Peso seco]	3
32	Macroinvertebrados [Org/cm ²]	3
33	Temperatura ambiente (°C)	
34	Porcentaje saturación OD (%)	
35	Hierro total (mgFe/L)	4
36	Mercurio (Hg)	4
37	Cobre (Cu)	4
38	Plomo (Pb)	4

Fuente: Guía técnica para la formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico, 2014

Mapa N° 2. Puntos de muestreo de agua superficial



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.3.3 Levantamiento se secciones transversales

El levantamiento de secciones transversales se realiza mediante batimetría la cual se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas,

humedales, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua.

Al igual que en los levantamientos topográficos convencionales, se determinan las coordenadas X, Y y Z, esta última corresponde a las profundidades de los cuerpos de agua levantados. De esta manera se llevó a cabo la batimetría, con la cual se describieron los fondos y el relieve de los cuerpos de agua y todas aquellas anomalías que se encontraron a lo largo de las secciones definidas para el río Chiriaimo.

Una de las herramientas elementales para el desarrollo de las modelaciones hidráulicas lo cual permite evaluar el tránsito de crecientes con fines de pronóstico hidrológico. Son los levantamientos batimétricos, ya que permiten estimar los volúmenes almacenados en los cuerpos de agua (Perímetro húmedo), dinámica de los lechos de ríos identificando zonas de socavación y áreas de depósito (Velocidad, altura de lámina y línea de energía), que en ocasiones puede ocasionar la formación de islas en el río; también ofrece información para la navegación en grandes ríos.

2.3.3.1 Metodología empleada

En el modelo se observarán las características o parámetros hidráulicos que presenta el río Chiriaimo en diferentes para los diferentes periodos de retornos (máximos, mínimos y caudales aforados), Estas series de caudales permitirán conocer los perfiles de flujo y comportamiento general según su régimen hidráulico.

Para el análisis, cálculo e interpretación de todos los parámetros y condiciones mencionadas en el párrafo anterior, se utilizará el software de libre acceso HEC-RAS versión 4.1 desarrollado por U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Este programa permite construir llanuras de inundación tanto para el régimen permanente (método del estándar por pasos), como para el régimen transitorio, resolviendo en este caso las ecuaciones de Saint Venant para cualquier condición de flujo impuesta a partir de la geometría real del cauce y las condiciones hidráulicas de rugosidad del terreno.

Para estas mediciones el ancho del cauce y la distancia entre las verticales se obtuvieron por mediciones hechas a partir de un punto fijo de referencia (generalmente un punto inicial en la margen) el cual fue tomado por GPS Garmin 62S, La sección transversal fue lanzada de lado a lado del cauce mediante el anclaje de la mira o nivel del lado izquierdo en el sentido de flujo y luego se trazó con una cuerda de lado a lado del cauce. Previamente se realizó un reconocimiento de las siguientes zonas:

➤ Llanura de inundación: se determinó con las marcas asociadas a permanencia de la lámina de agua en rocas y vegetación de la zona.

- Zona de banca llena: También llamado caudal a banca llena que puede considerarse como la media de los caudales máximos instantáneos que pasan por el cauce del río Chiriaimo y sus afluentes; en otras palabras, el caudal de banca llena se define como aquel caudal que fluye llenando el cauce, sin derramar sobre las llanuras de inundación.
- Lámina de agua o sección transversal de flujo: Existe un punto denominado inicio de la lámina de agua y corresponde al punto hasta donde se encuentra el nivel del agua que está fluyendo en ese instante, el cauce posee un ancho ocupado por esta lámina y posee un perfil de profundidades de agua los cuales fluyen a una velocidad determinada por los aforos en cada una de las campañas de monitoreo; en este sentido se construye la sección transversal de la lámina de agua la cual está acotada por las dos orillas. Su nivel y velocidad están asociado a la época del año, la pendiente, la rugosidad del fondo y a la geomorfología de la microcuenca.

2.3.3.2 Descripción de tramos a estudiar

El río Chiriaimo dentro de la clasificación en tipos de cuerpos loticos, se puede clasificar como Río o Quebrada de Montaña, en donde a lo largo de su cauce se encuentran diferentes hábitats hidráulicos que condicionan y ayudan a predecir el comportamiento hidrodinámico de la cuenca, por lo que es de gran importancia su identificación (Anexo N° 2. Informe de Aforo). Dichos hábitats se definen a continuación:

➤ Pozos

Son geoformas localizadas generalmente aguas abajo de escalones y rápidos o en la parte externa de las curvas, donde la lámina de agua es mayor. El flujo en estos sitios presenta un régimen subcrítico ya que la corriente exhibe bajas velocidades. Son hábitats propicios para individuos con necesidades de aguas profundas y velocidades menores.

➤ Escalones

Se forman debido a la acumulación de material con diámetros mayores y de forma transversal en los canales durante una avenida o cuando sobre el lecho afloran sistemas rocosos que el flujo no puede movilizar. En corrientes de montaña suelen encontrarse secuencias escalón-pozo que actúan como disipadores naturales de la energía del flujo. Exactamente en el escalón el flujo presenta un régimen supercrítico y turbulento que ayuda a la mezcla del agua y de igual forma la oxigena. Individuos resistentes a las altas velocidades del flujo y pendientes considerables del lecho son aptos para la subsistencia en estos sitios.

➤ Rápidos

Son tramos cortos del canal cuyo lecho presenta un material con granulometría heterogénea y que puede ser transportado durante las avenidas. No hay recorridos claros de las líneas de corriente, por el contrario, son trayectos del flujo caóticos debido a las condiciones turbulentas del flujo y a su régimen supercrítico. Estas formas del lecho pueden estar total o parcialmente sumergidas de acuerdo con la variación del caudal lo que permite una mayor diversidad de especies.

➤ Remansos

Son hábitats hidráulicos caracterizados por aguas profundas con baja velocidad y dirección contraria a la corriente principal además exhiben un régimen subcrítico generalmente turbulento. Se localizan en bases anchas del cauce donde la pendiente del lecho es baja o en tramos aledaños a estructuras hidráulicas que cortan directamente las líneas de corriente. Ya que el flujo es lento, hay poca oxigenación, pero se propicia sedimentación constante lo que permite que la materia orgánica se adhiera fácilmente a las rocas proporcionando así áreas óptimas para la subsistencia de organismos que se desarrollan bajo este escenario.

2.3.3.3 Cálculo del coeficiente de resistencia al flujo (Rugosidad de Manning)

Una de las variables que mayor incertidumbre proporciona para la evaluación de los niveles de flujo es el coeficiente de rugosidad de Manning. En el presente estudio los coeficientes de rugosidad fueron obtenidos a partir de comparación visual con valores previamente registrados en la literatura (Chow, 1994) y manual HEC-RAS. Al revisar, se encuentra que el cauce en general presenta un cauce protegido en roca y provisto de mucha vegetación lo que le sirve como protección para efectos de escorrentía, lluvias y subidas de caudal, además a lo largo del cauce se pudo evidenciar que en los taludes que forman la geomorfología de la cuenca presenta afloramiento de rocas y árboles de tamaño representativo, con una densidad que ayudan a la identificación clara de la rugosidad que presentan.

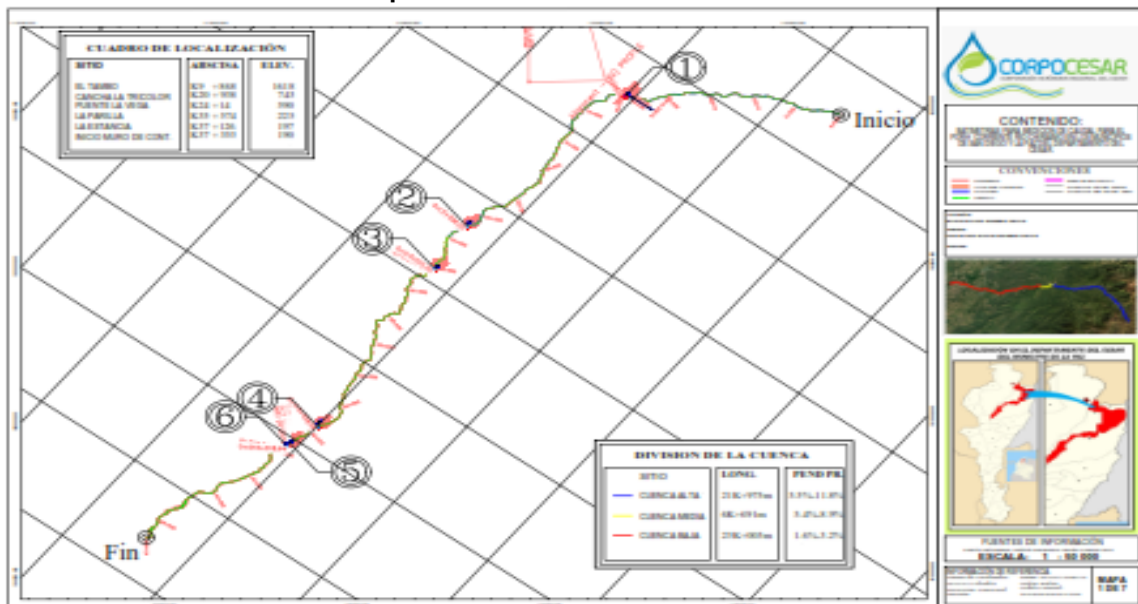
Las rugosidades de Manning escogidas están basadas en las características encontradas en campo y descritas en el párrafo anterior, sin embargo, las condiciones cambiantes de la cuenca, a lo largo de todo su trayecto, permitió definir características únicas para cada tramo y ajustar la calibración del modelo hidráulico.

2.3.4 Modelamiento Hidráulico

Con el fin de obtener una modelación que representara el comportamiento hidráulico con mayor semejanza a la realidad, se dividió el río Chiriaimo en 5 tramos comprendidos entre las 6 estaciones de monitoreo.

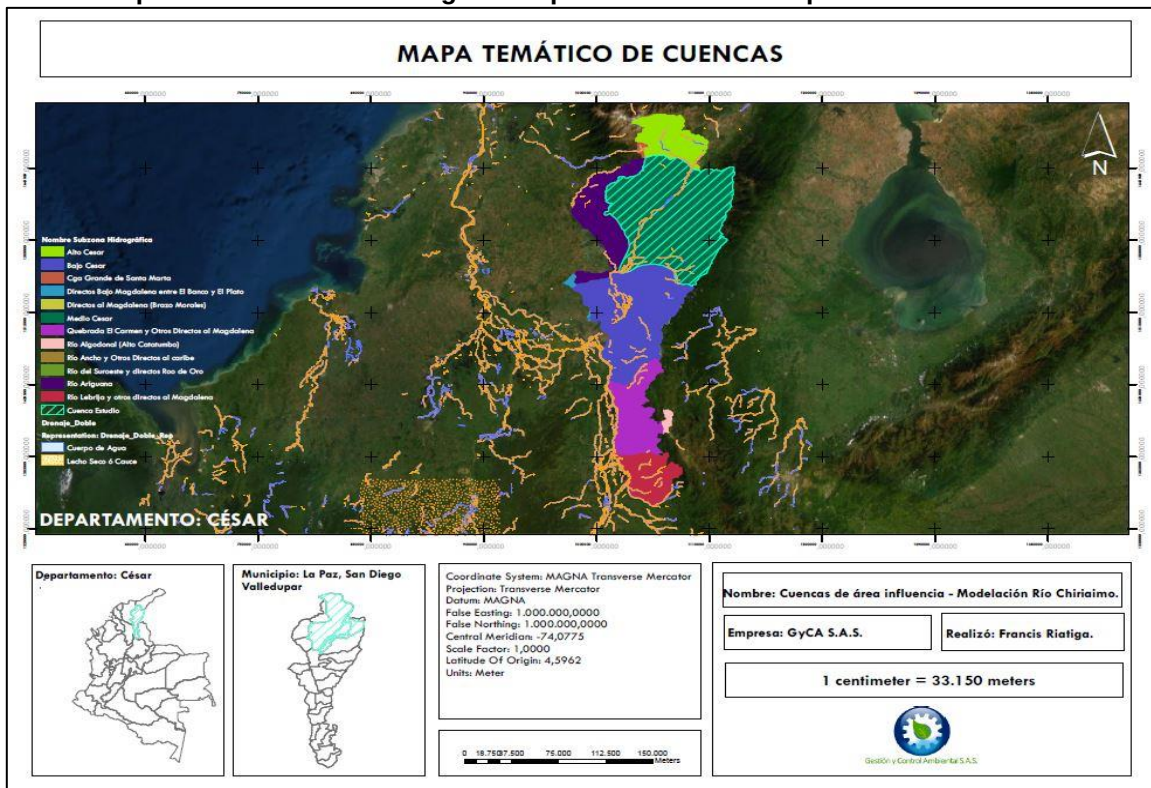
FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 3. Tramos del rio Chiriaimo



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Mapa N° 4. Subzonas hidrográficas pertenecientes al departamento del Cesar.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

A continuación, se presentan los datos principales de la subzona hidrográfica específica de la cual hace parte el río Chiriamo objeto de modelación y simulación.

Tabla N° 6. Descripción del área hidrográfica objeto de estudio.

ESTACIÓN	NOMBRE	AH	NOMBRE AH	ZH	NOMBRE ZH	SZH	NOMBRE SZH
E-1	Puente el Tambo	2	Magdalena-Cauca	28	Cesar	2802	Medio Cesar
E-2	Cancha Tricolor	2	Magdalena-Cauca	28	Cesar	2802	Medio Cesar
E-3	Puente la Vega	2	Magdalena-Cauca	28	Cesar	2802	Medio Cesar
E-4	Finca la Parrilla	2	Magdalena-Cauca	28	Cesar	2802	Medio Cesar
E-5	La Estancia	2	Magdalena-Cauca	28	Cesar	2802	Medio Cesar
E-6	Inicio Muro De Contención	2	Magdalena-Cauca	28	Cesar	2802	Medio Cesar

Fuente: (IDEAM, 2014).

Así mismo, la siguiente tabla relaciona la información del nivel subsiguiente, hasta llegar a la microcuenca objeto de estudio río Chiriamo.

Tabla N° 7. Microcuenca correspondiente a la zona objeto de modelación.

ESTACIÓN	NOMBRE	AH	ZH	SZH	NIVEL SUBSIGUIENTE	C_NV_SUB	MICROC	C_MICROC
E-1	Puente el Tambo	2	28	2802	Chiriamo-Manaure	280203	Rio Chiriamo	28020302
E-2	Cancha Tricolor	2	28	2802	Chiriamo-Manaure	280203	Rio Chiriamo	28020302
E-3	Puente la Vega	2	28	2802	Chiriamo-Manaure	280203	Rio Chiriamo	28020302
E-4	Finca la Parrilla	2	28	2802	Chiriamo-Manaure	280203	Rio Chiriamo	28020302
E-5	La Estancia	2	28	2802	Chiriamo-Manaure	280203	Rio Chiriamo	28020302
E-6	Inicio Muro De Contención	2	28	2802	Chiriamo-Manaure	280203	Rio Chiriamo	28020302

Fuente: (IDEAM, 2014).

Donde:

- AH: Corresponde al código atribuido por el IDEAM del área hidrográfica.
- ZH: Corresponde al código atribuido por el IDEAM de la Zona Hidrográfica.
- SZH: Corresponde al código atribuido por el IDEAM de la Subzona Hidrográfica.
- C_NV_SUB: Corresponde al código del nivel subsiguiente a la subzona Hidrográfica.
- MICROC: Corresponde al nombre de la microcuenca a la cual pertenece el Río Chiriamo.
- C_MICROC: Corresponde al código de la microcuenca atribuido en el POMCA correspondiente.

2.3.4.1 Ubicación de los Puntos de Medición

Para la modelación y simulación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se hizo necesario realizar el muestreo en los puntos de control o estaciones que se mencionan en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Ubicación de Puntos de Monitoreo río Chiriaimo.

ESTACIONES		COORDENADAS GEOGRÁFICAS (GRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS)		COORDENADAS PLANAS (MAGNA SIRGAS CON ORIGEN EN BOGOTÁ, COLOMBIA)	
Nomenclatura	Nombre	Latitud	Longitud	Norte	Este
E-1	Puente el Tambo	10°20'10"	72°57'11"	1123141,20	1635042,22
E-2	Cancha la Tricolor	10°20'46"	73°02'26"	1113549,31	1636114,02
E-3	Puente la Vega	10°20'38"	73°03'46"	1111121,35	1635855,97
E-4	Finca la Parrilla	10°20'04"	73°09'16"	1101089,52	1634769,79
E-5	La Estancia	10°20'23"	73°10'00"	1099530,00	1635405,00
E-6	Inicio de muro de Contención	10°20'25"	73°10'07"	1099739,00	1635363,00

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Donde:

- **E1:** Punto en la zonificación alta de la cuenca aguas arriba - Puente el Tambo.
- **E2:** Punto en la zonificación alta de la cuenca - Cancha Tricolor.
- **E3:** Punto en la zonificación media de la cuenca - Puente la Vega.
- **E4:** Punto en la zonificación baja de la cuenca - Finca la Parrilla.
- **E5:** Punto en la zonificación baja de la cuenca - La Estancia.
- **E6:** Punto en la zonificación baja de la cuenca - Inicio Muro de Contención.

2.3.4.2 Propósito de la Medición

Sabiendo que la modelación se constituye como una herramienta fundamental para planeación, diseño e implementación de programas de control de la contaminación de los recursos hídricos, en lo que se refiere a cuerpos de aguas superficiales, de diferentes actividades antrópicas a lo largo de un tramo del mismo, se puede definir como propósito principal de la modelación del río Chiriaimo conocer el comportamiento a lo largo del tiempo de las condiciones hidráulicas y la

caracterización fisicoquímica y microbiológica del estado actual de la cuenca que se encuentran dentro del marco del proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico - PORH.

2.3.5 Determinación de condiciones hídricas.

2.3.5.1 Caracterización Hidrológica

Con el objetivo de entender el comportamiento hidrológico del río Chiriaimo, se llevó a cabo el análisis de los campos de precipitación histórica reportados por el IDEAM, para la cuenca hidrográfica trazada aguas arriba de los puntos de monitoreo. Los valores de precipitación fueron utilizados para la estimación de los caudales medios, implementando la metodología de balance a largo plazo. A continuación, se presentan las principales variables hidrológicas que fueron tenidas en cuenta para la modelación y simulación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Chiriaimo:

Tabla N° 9. Estaciones de precipitación cercanas al río Chiriaimo.

CÓDIGO	NOMBRE	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PMMA [mm]
2802504	San José de Oriente	La Paz	César	850	1255,3

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

**PMMA: Precipitación media multianual.*

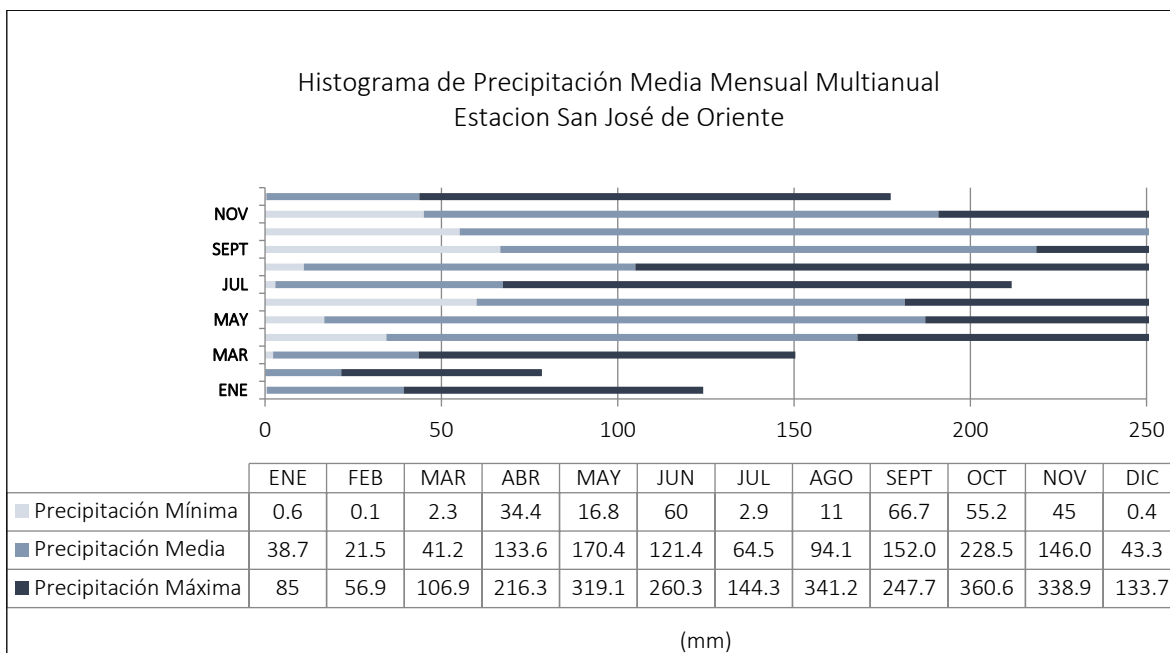
Tabla N° 10. Régimen de precipitaciones (mm).

CRITERIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
MEDIO	38,7	21,5	41,2	133,6	170,4	121,4	64,5	94,1	152,0	228,5	146,0	43,3	1255,3
MÁXIMO	85	56,9	106,9	216,3	319,1	260,3	144,3	341,2	247,7	360,6	338,9	133,7	360,6
MÍNIMO	0,6	0,1	2,3	34,4	16,8	60	2,9	11	66,7	55,2	45	0,4	0,1

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

En la se presenta el histograma que contiene las precipitaciones medias, máximas y mínimas del área de estudio, expresadas en milímetros.

Grafica N° 2. Histograma de precipitaciones del área objeto de estudio.



Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

Así mismo, en la Tabla N° 11, Tabla N° 12 y Tabla N° 13, se presentan los promedios mensuales multianuales correspondientes a las precipitaciones, brillo solar y la humedad relativa del área objeto de estudio.

Tabla N° 11. Valores promedios mensuales de temperaturas (°C).

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
24,4	24,8	25,3	25,2	24,9	25,5	25,5	25,3	24,9	24,6	24,6	24,1

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

Tabla N° 12. Valores promedios mensuales de brillo solar (Horas).

CRITERIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
MEDIO	228,7	195,8	199,1	166,8	155,8	161	171,3	160	136,9	146,2	153,6	199,4	1803,9
MÁXIMO	263,3	227,5	234,4	215,1	209,5	186,5	203,3	194,3	165,1	193,8	174,6	226,6	2214
MÍNIMO	191,9	168,8	168	136	101,6	129,7	143,6	122,3	96,5	92,6	116,4	134,5	968

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

Tabla N° 13. Valores Promedio mensuales de humedad relativa (%).

CRITERIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
MEDIOS	79,5	79	78	79	80	80	79	79	80	82	80	80	79,6
MÁXIMOS	82	83	84	83	85	84	83	84	85	88	83	83	88
MÍNIMOS	74	70	72	75	69	73	72	73	73	75	76	74	69

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

Igualmente, en la siguiente tabla, se presentan las condiciones meteorológicas específicas determinadas en campo por estación de monitoreo que fueron consideradas como datos de entrada para el modelo simulado en QUAL2KW:

Tabla N° 14. Condiciones meteorológicas tomadas en campo - época seca.

ESTACIÓN	NOMBRE	TEMP, (°C)	PORCENTAJE DE SOMBRA SOBRE EL CUERPO DE AGUA (%)	VELOC, VIENTO	HUMEDAD RELATIVA (%)	NUBOSIDAD (%)	PUNTO DE ROCÍO (°C)
E-1	PUENTE EL TAMBO	25,5	60	3,2	51	82	26
E-2	CANCHA LA TRICOLOR	33	50	3,6	59	40	25
E-3	PUENTE LA VEGA	28,7	70	3	71	72	24
E-4	FINCA LA PARRILLA	26,3	20	3	65	28	21
E-5	LA ESTANCIA	33,1	35	4	51	53	23
E-6	INICIO MURO DE CONTENCIÓN	34,8	15	4	55	70	23

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

Tabla N° 15. Condiciones meteorológicas tomadas en campo - época lluviosa.

ESTACIÓN	NOMBRE	TEMP, (°C)	PORCENTAJE DE SOMBRA SOBRE EL CUERPO DE AGUA (%)	VELOC, VIENTO	HUMEDAD RELATIVA (%)	NUBOSIDAD (%)	PUNTO DE ROCÍO (°C)
E-1	PUENTE EL TAMBO	26	60	3	81	57	23
E-2	CANCHA LA TRICOLOR	29	50	3	77	87	24
E-3	PUENTE LA VEGA	29	70	3	67	77	23
E-4	FINCA LA PARRILLA	30	20	4	100	79	23
E-5	LA ESTANCIA	28	35	3.5	60	57	26

E-6	INICIO MURO DE CONTENCIÓN	32	15	4	62	72	21
------------	---------------------------------	----	----	---	----	----	----

Fuente: (Estación SAN JOSÉ DE ORIENTE, 2009).

2.3.5.2 Morfometría.

Los parámetros morfométricos, hacen referencia a la identificación de la cuenca a la que pertenece el río Chiriaimo (microcuenca río Chiriaimo - C_Microc 28020302), las cuales se encuentran descritas en el numeral 3.1 Información General. Del mismo modo, se determina la longitud del tramo de dicho cuerpo de agua. Seguidamente, se puede observar una relación de los parámetros morfométricos de la subzona hidrográfica objeto de estudio (SZH: 2802), en la siguiente tabla:

Tabla N° 16. Parámetros morfométricos de la cuenca hasta el punto de control.

PARÁMETROS		UNIDADES	MICROCUEENCA RÍO CHIRIAIMO
HIDRÁULICOS	Área	Km ²	217,64
	Perímetro	Km	338,08
	Longitud del Cauce Principal	Km	47,65
FORMA	Ancho Medio	Km	6
	Longitud Axial	Km	36,31
	Ancho Máximo	Km	13,24
	Factor de Forma Kf	--	0,17
	Índice de Gravelius Kc	--	1,91
	Índice de Alargamiento La	--	2,74
RELIEVE	Pendiente Media de la Cuenca	%	46,96
	Elevación Media de la Cuenca	Msnm	1771
	Elevación Mediana de la Cuenca	Msnm	1878
RELATIVOS A LA RED HIDROGRÁFICA	Sinuosidad de la Corriente Principal	--	0,69
	Pendiente Media del Cauce Principal	--	6,4
	Pendiente Equivalente del Cauce Principal	--	2,95
CONCENTRACIÓN	Tiempo de Concentración Kirpich	Minutos	60

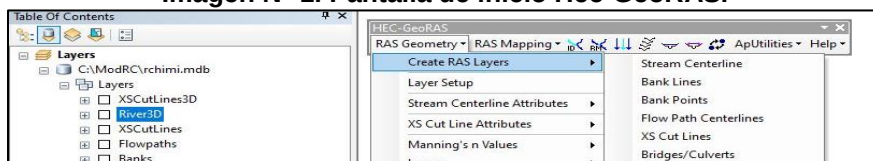
Fuente: (CORPOCESAR, 2018).

2.3.6 Estimación de condiciones Hidráulicas.

Para el caso específico del tramo de estudio del río Chiriaimo, se hizo necesaria la implementación del software *Hec-GeoRAS* que se soporta como extensión al

software *ArcGIS* en su versión 10.5. El software *Hec-GeoRAS*, es utilizado con el objeto específico de determinar las condiciones tridimensionales del río Chiriaimo. Para ello, inicialmente, se debe realizar el trazado del tramo a modelar del río, el cual se obtuvo del *Shapefile* Drenaje Sencillo que reposa en la base de datos del IDEAM, tal y como se presenta a continuación:

Imagen N° 1. Pantalla de inicio Hec-GeoRAS.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Para el levantamiento de la geometría del río Chiriaimo en 2D, se llevó a cabo la delimitación del *Stream Centerline* (cauce principal), *Bank Lines* (bancas) y los *Flow Path Centerlines* (dirección de flujo) correspondientes al río Chiriaimo. Para la determinación de la geometría del río Chiriaimo en 3D, se debe realizar la determinación de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) con el fin de poder identificar las profundidades en cada uno de los cortes transversales donde se requiera evaluar la geometría del cuerpo. A continuación, se presenta el mapa temático de alturas (metros), que proviene del arreglo de los pixeles del Modelo Digital de Elevaciones (DEM):

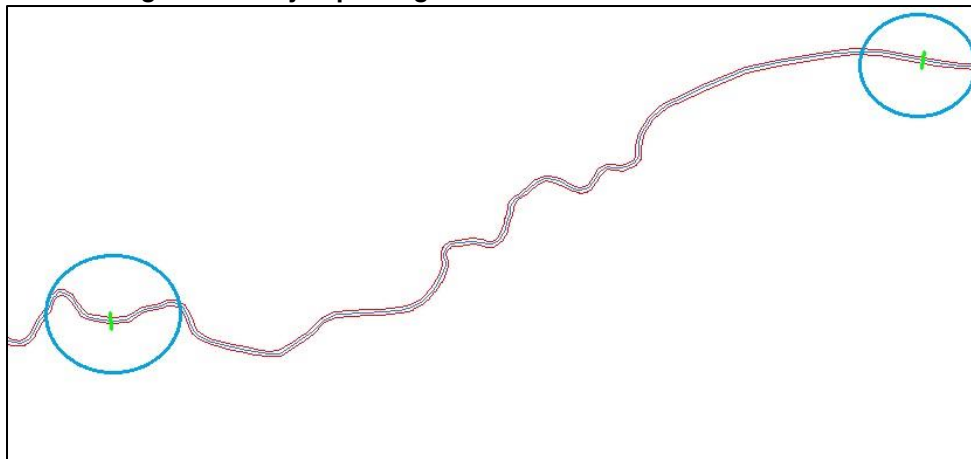
Mapa N° 5. Mapa temático de alturas (metros) o DEM.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Previo a la determinación de la geometría en 3D, es necesario llevar a cabo el trazado de las bancas (*Bank Lines*), las cuales hacen referencia al ancho aproximado del río, que es delimitado manualmente a través de la herramienta *Editing Tools* de *ArcGIS 10.5*, al igual que los *Flow Paths* los cuales indican la dirección del flujo del río. Posterior al trazado de las bancas y de los *Flow Paths*, se realiza el corte transversal (*XSCutLines*) del área objeto de estudio y se le asigna un ancho aproximado de 30 metros (15 metros contados desde el centro del río hacia la margen izquierda y la margen derecha, dependiendo de la dirección del flujo). Así mismo se cumplió con el criterio de que los cortes transversales se deben realizar perpendicularmente a las bancas del río y deben cruzarlas en su totalidad por cada margen, así mismo ningún corte transversal debe cruzarse. A continuación, se esquematiza parte del tramo del río delimitado geométricamente:

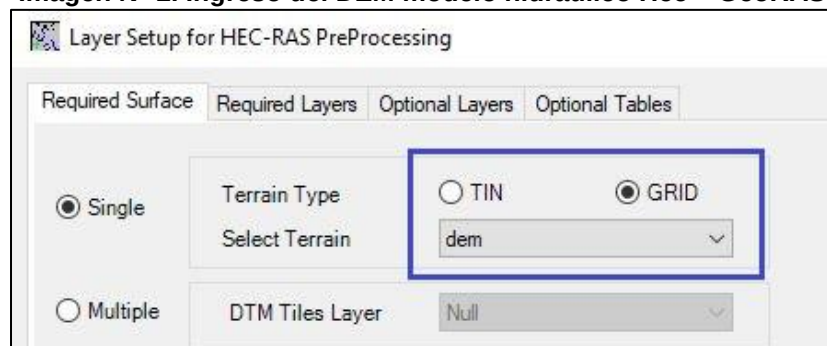
Figura N° 1. Ejemplo segmentación de tramos Hec-GeoRAS



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Con el fin de poder extraer la geometría en 3D del río Chiriaimo se ingresó el DEM en los archivos requeridos de entrada del software *Hec-GeoRAS*, lo que permitió obtener los perfiles de cada tramo simulado, tal y como se presenta a continuación:

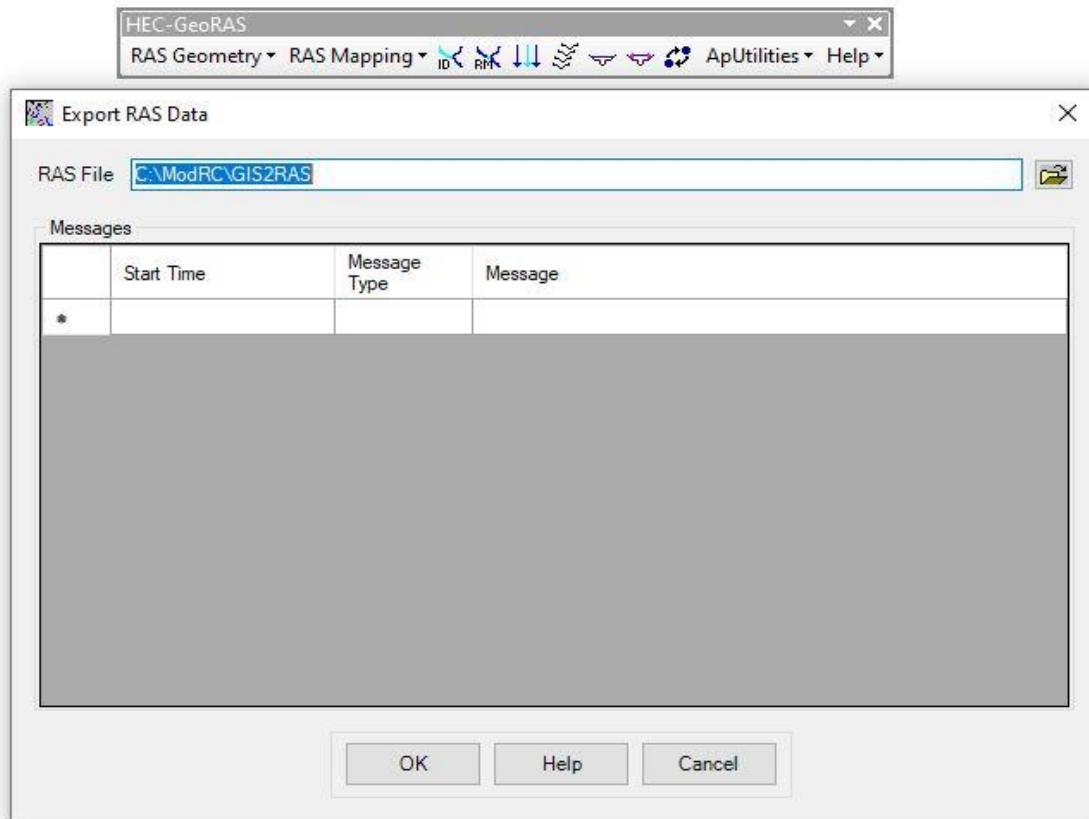
Imagen N° 2. Ingreso del DEM modelo hidráulico Hec – GeoRAS.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Posteriormente, se procede a correr el modelo hidráulico buscando obtener la geometría principal del tramo del río Chiriaimo que es objeto de estudio, tal y como se presenta a continuación:

Imagen N° 3. Exporte de geometría - Hidráulica.



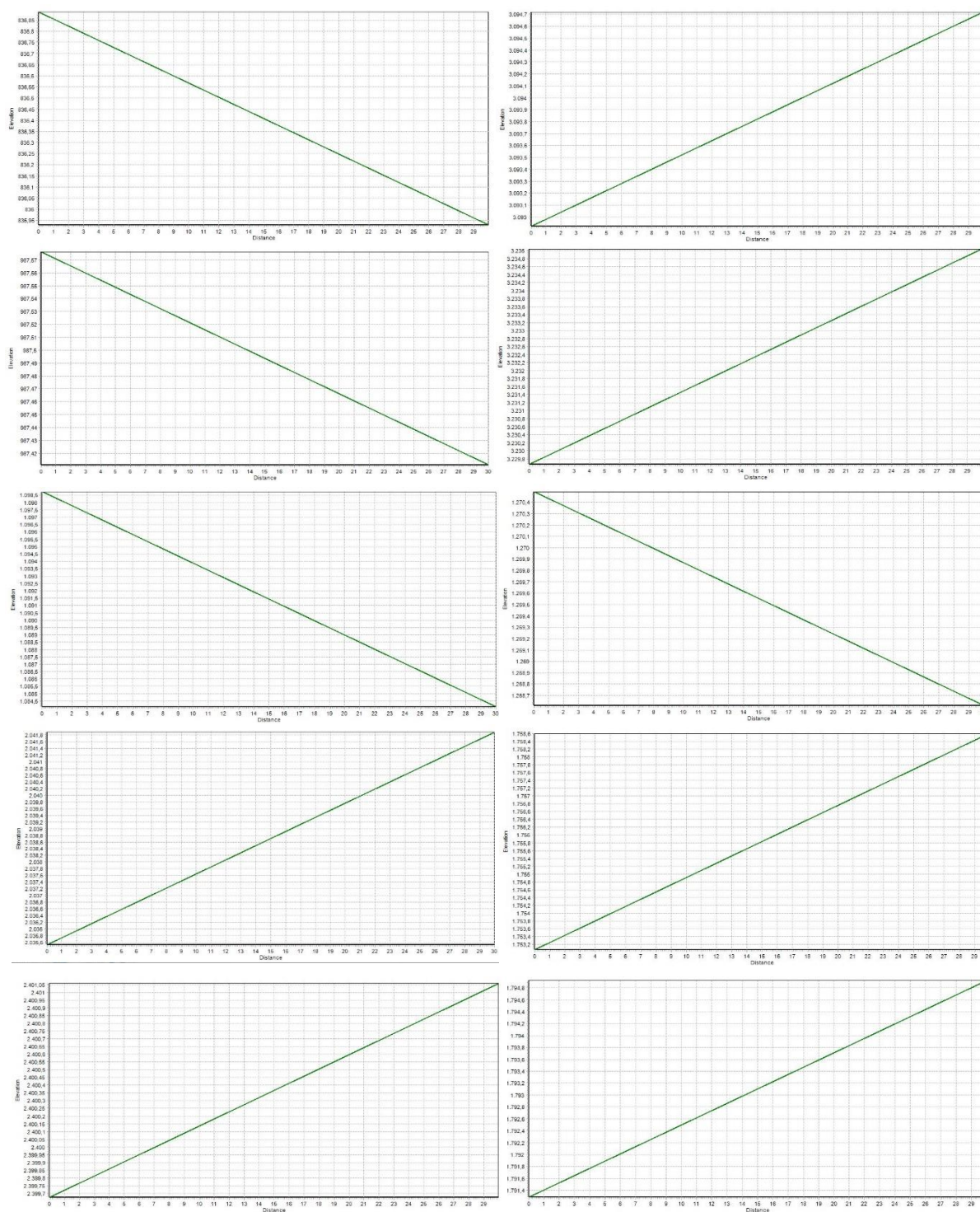
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.3.6.1 Determinación de perfiles

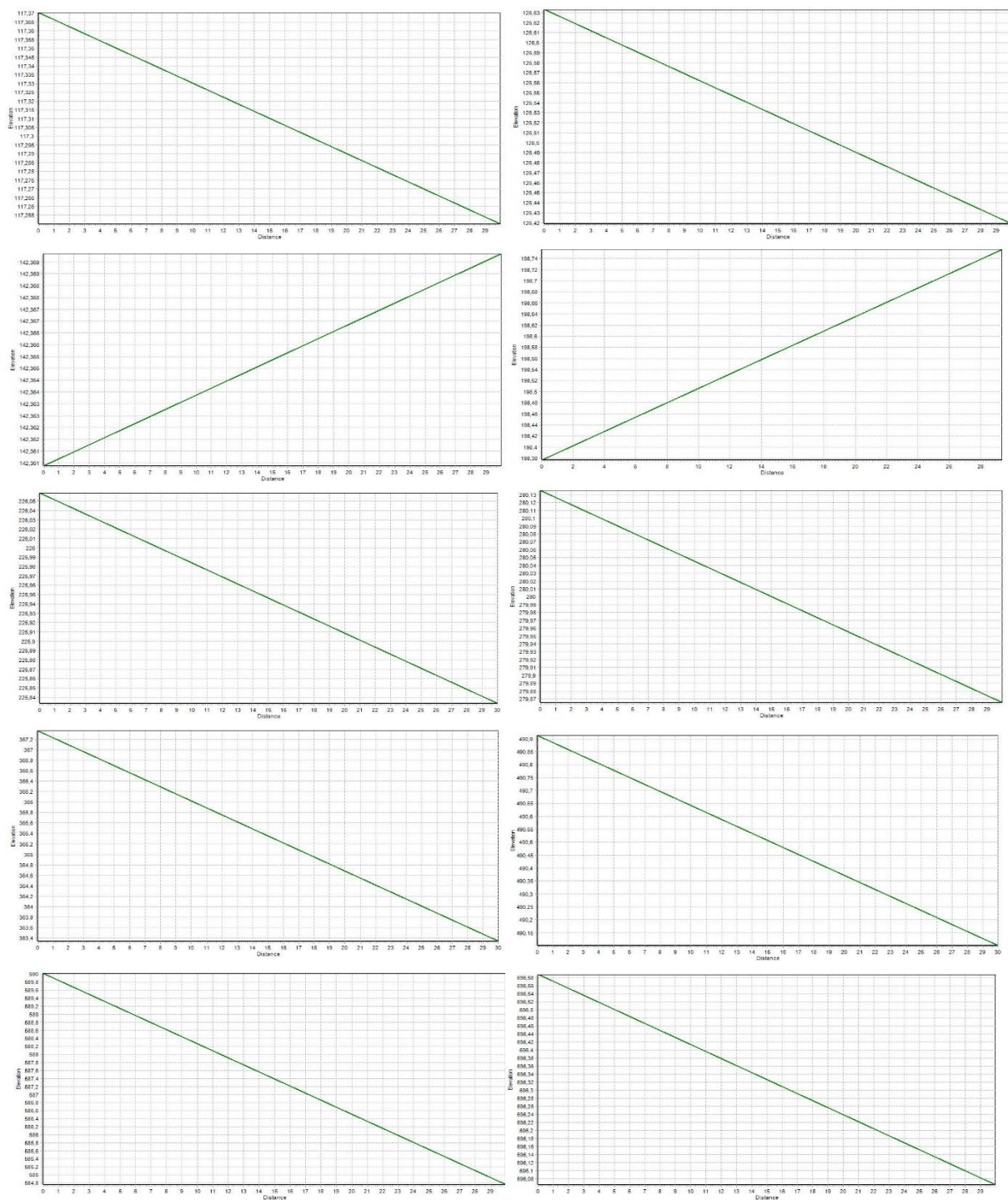
Las condiciones hidráulicas iniciales, son atributos fundamentales a la hora de determinar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en un periodo determinado. A partir de la geometría delimitada mediante el software *Hec-GeoRAS*, se determinaron los cortes transversales, los cuales se utilizarán para la estimación de los caudales en cada sección transversal. A continuación, se presentan los cortes de las profundidades calculadas para 20 secciones transversales del río Chiriaimo:

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Figura N° 2. Profundidades - Cortes.



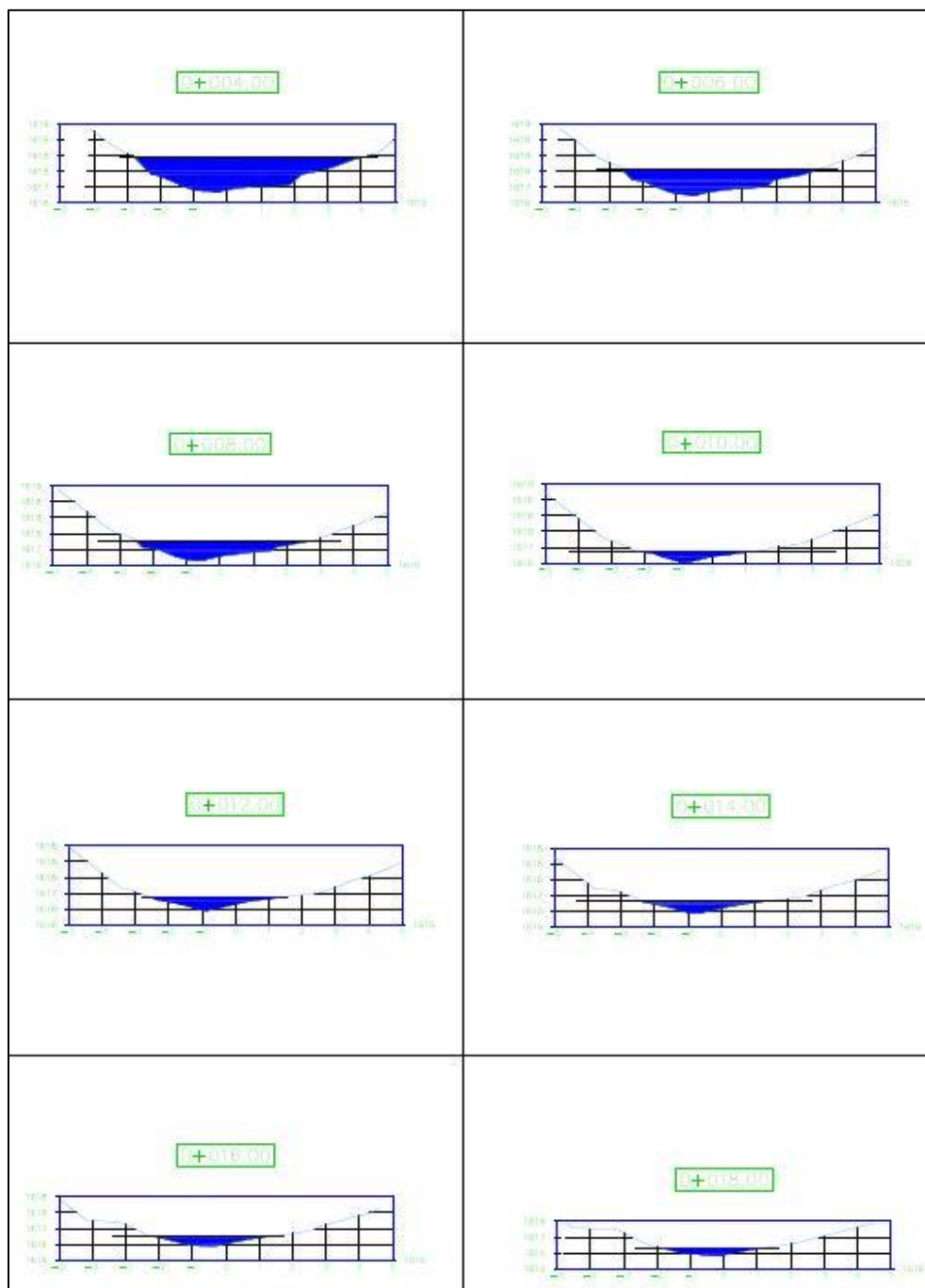
FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

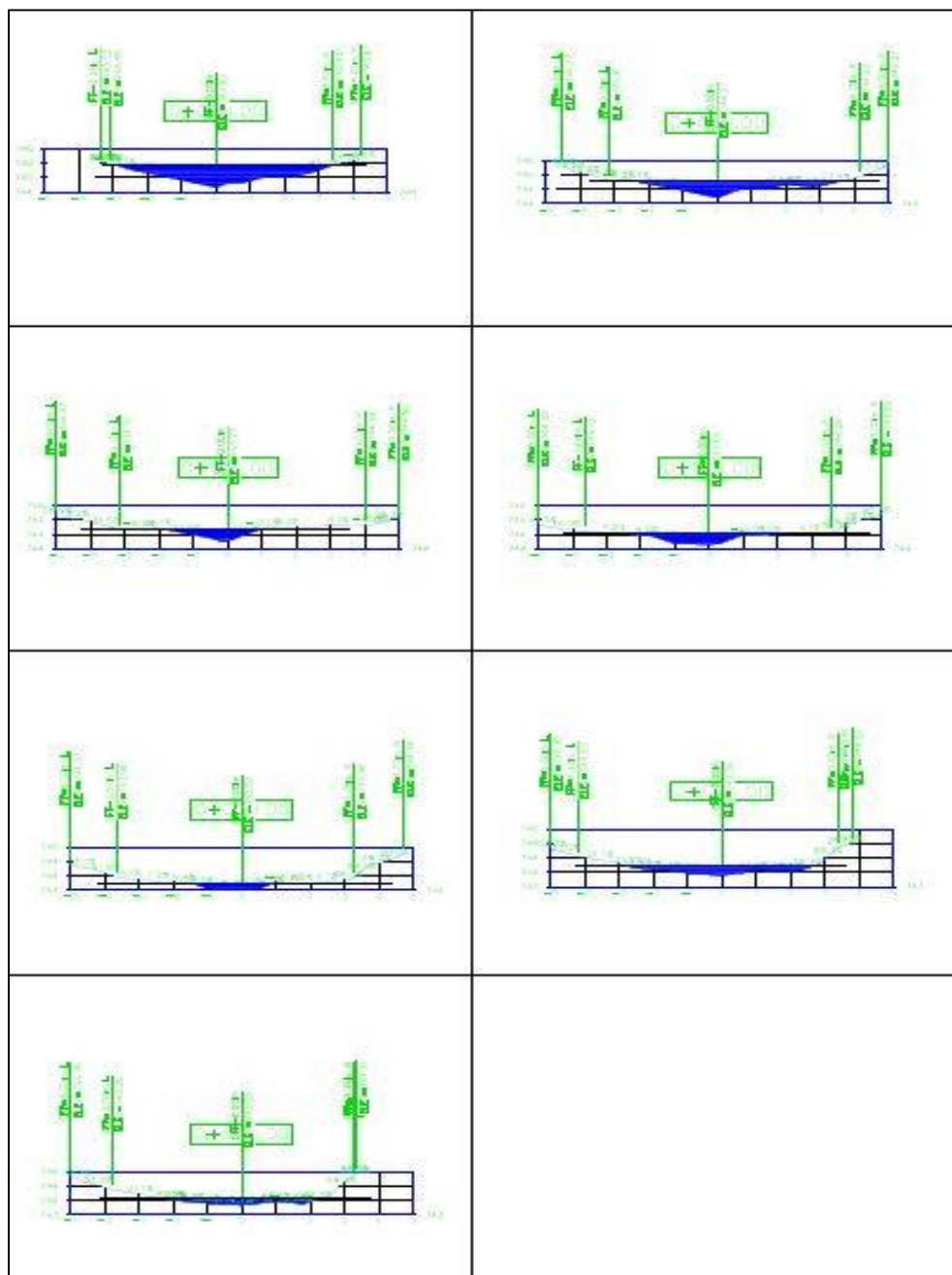
Así mismo, en la siguiente figura, se presentan los cortes transversales de las secciones correspondientes a las estaciones de monitoreo:

Figura N° 3. Corte Transversal – E1



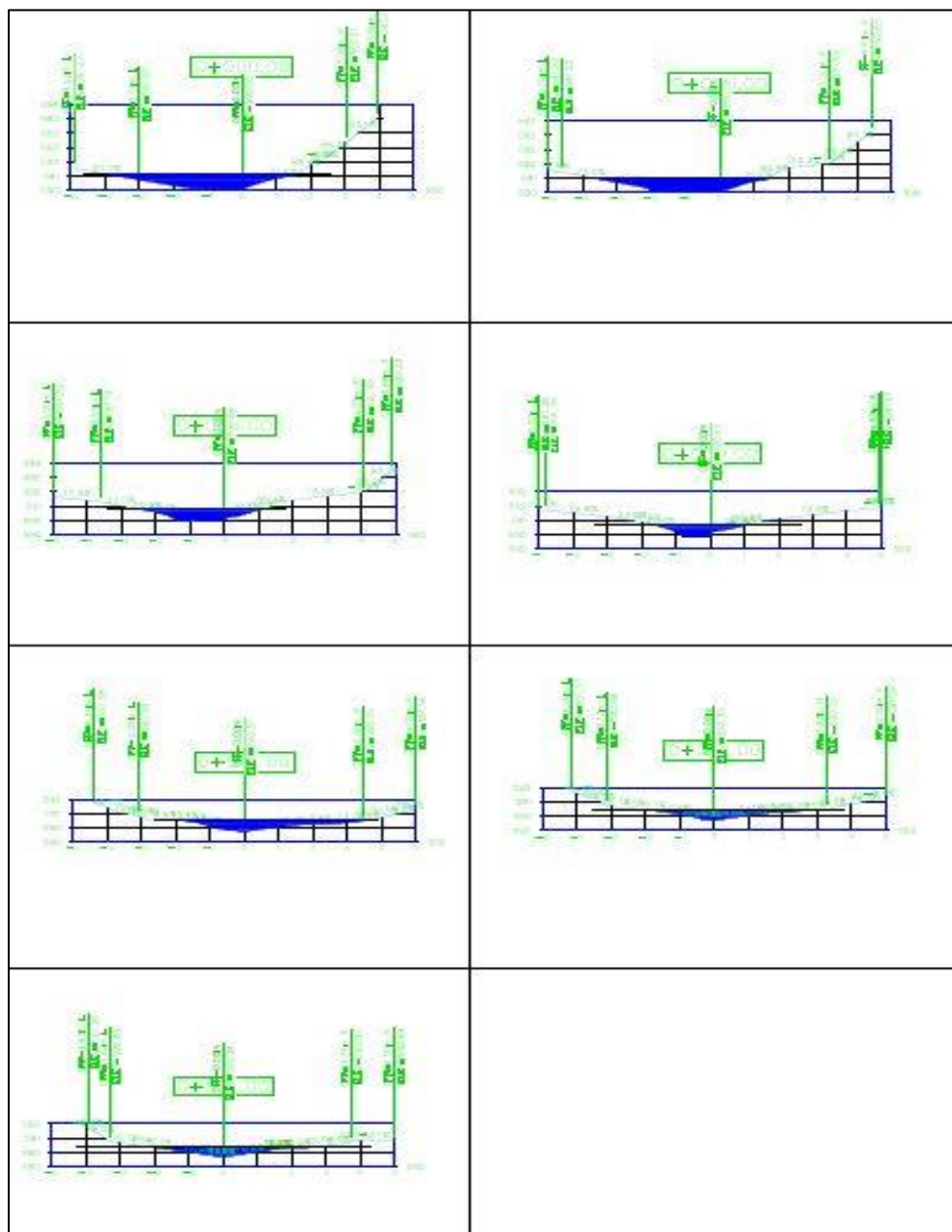
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Figura N° 4. Corte Transversal – E2.



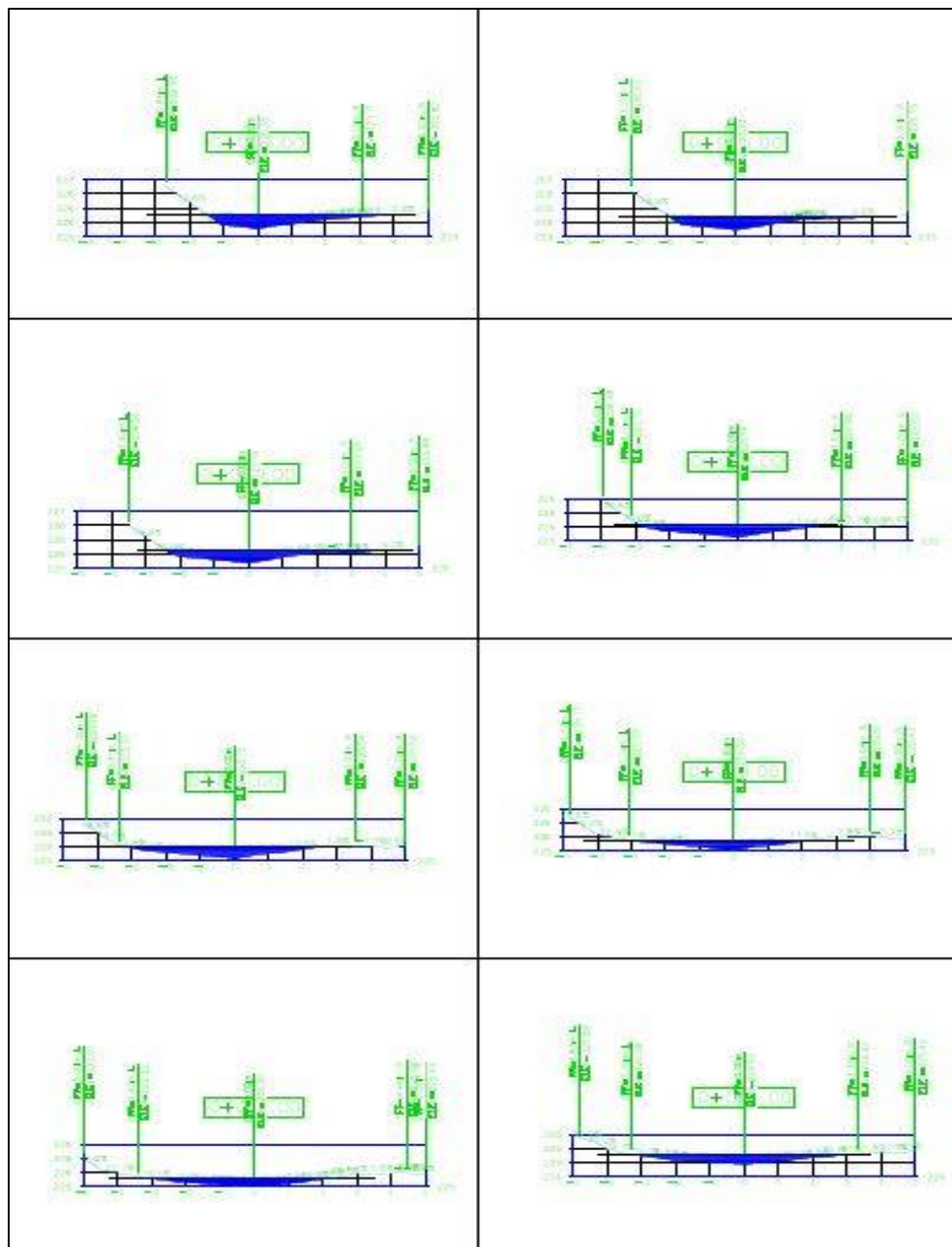
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Figura N° 5. Corte Transversal – E3.



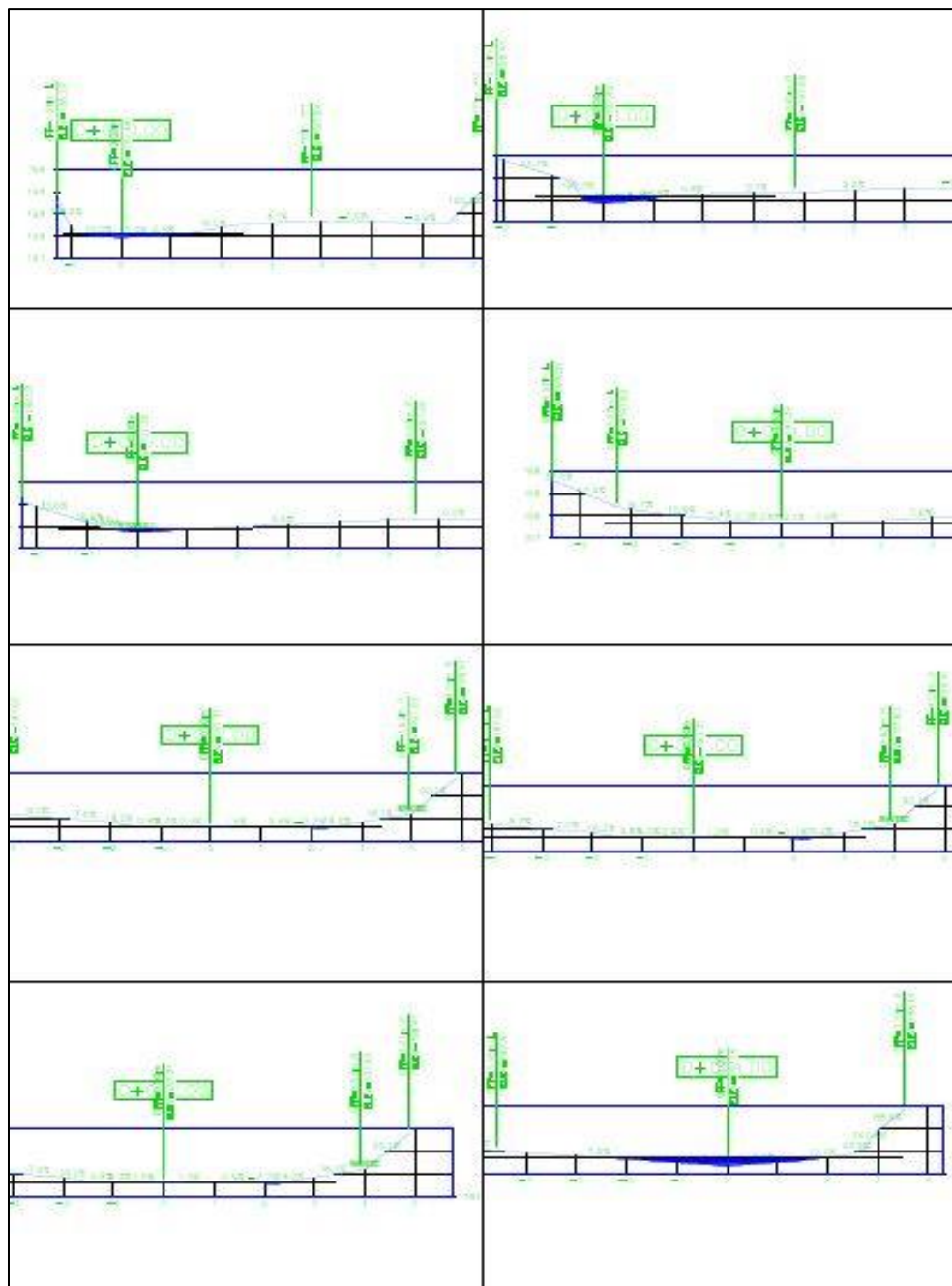
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Figura N° 6. Corte Transversal – E4.



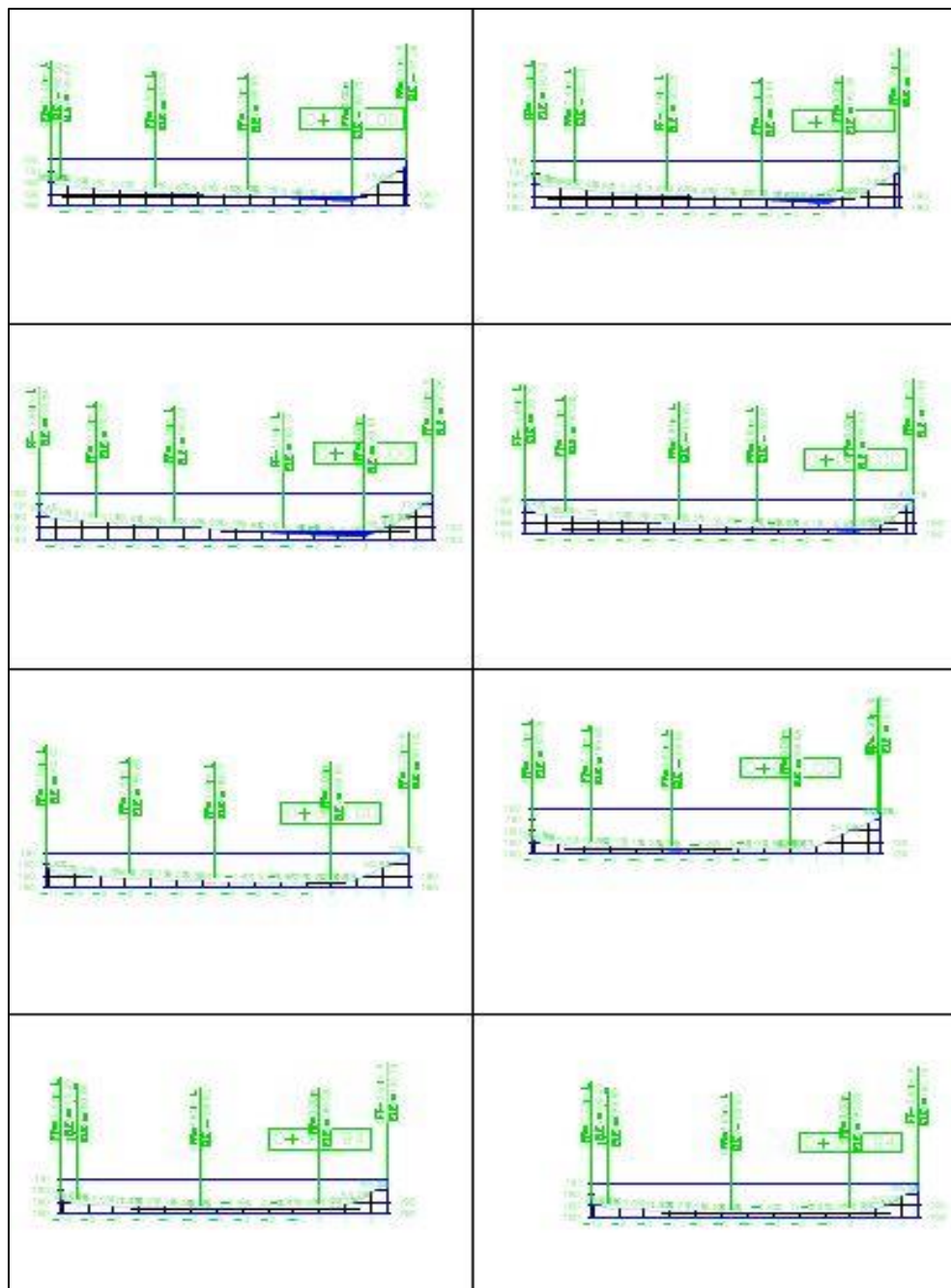
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Figura N° 7. Corte Transversales – E5.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Figura N° 8. Corte Transversal – E6.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En la siguiente tabla se puede observar la representación matemática de los resultados gráficos antes presentados, referentes a las condiciones hidráulicas obtenidas que serán consideradas en los datos de entrada en la modelación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Tabla N° 17. Resumen de las condiciones hidráulicas obtenidas.

ESTACIÓN	ID	V (m/s)	V (m/d)	H prom	Q (m³/s)
E-1	Puente el Tambo	0,289	24969,6	0,18	0,359
E-2	Cancha la Tricolor	0,39	33696	0,38	0,38
E-3	Puente la Vega	0,648	55987,2	0,27	0,535
E-4	Finca la Parrilla	0,917	79228,8	1,91	0,865
E-5	La Estancia	0,36	31104	1,38	0,044
E-6	Inicio de muro de Contención	0,075	6480	0,43	0,017

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Posteriormente, se realizó el cálculo estadístico de los promedios de las condiciones hidráulicas de los cortes transversales para cada estación de monitoreo, donde se relacionan la velocidad (V), el área (a), el caudal (Q), el exponente (b) y el coeficiente (a):

Tabla N° 18. Cálculo de los exponentes b y coeficiente a para el cálculo de la constante Ka.

ESTACIÓN	NOMBRE	V (m/s)	A (m²)	Q (m³/s)	b	a
E-1	Puente el Tambo	0,289	1,462	0,359	0,43	0,45
E-2	Cancha la Tricolor	0,39	1,147	0,38	0,43	0,59
E-3	Puente la Vega	0,648	0,971	0,535	0,43	0,85
E-4	Finca la Parrilla	0,917	1,11	0,865	0,43	0,98
E-5	La Estancia	0,36	0,144	0,044	0,43	1,38
E-6	Inicio de muro de Contención	0,075	0,265	0,017	0,43	0,43

Fuente: PORH Río Chiriaimo 2019

Seguidamente, se presenta la estimación de la constante K junto al tiempo de viaje, donde H representa la profundidad.

Tabla N° 19. Estimación de la constante Ka y tiempo de viaje.

ESTACIÓN	NOMBRE	EXPONENTE b	COEFICIENTE a	H prom	Q prom	V prom	Ka	TIEMPO VIAJE (días)
E-1	Puente el Tambo	0,43	0,45	0,18	0,359	0,289	0,2041	0,00053
E-2	Cancha la Tricolor	0,43	0,59	0,38	0,38	0,39	0,0672	0,00039
E-3	Puente la Vega	0,43	0,85	0,27	0,535	0,648	0,1111	0,00006
E-4	Finca la Parrilla	0,43	0,98	1,91	0,865	0,917	0,0059	0,00018
E-5	La Estancia	0,43	1,38	0,15	0,044	0,36	0,2823	0,00006
E-6	Inicio de muro de Contención	0,43	0,43	0,04	0,017	0,075	1,9486	0,00004

Fuente: PORH Río Chiriaimo 2019

2.3.6.2 Determinación de las pendientes.

Uno de los criterios fundamentales para correr el modelo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Chiriaimo es la determinación de las pendientes, ya que estos datos se deben ingresar en los datos de entrada del *WorkSheet* (Hoja de cálculo) correspondiente a las variables hidráulicas.

Mapa N° 6. Mapa de pendientes – área de influencia.

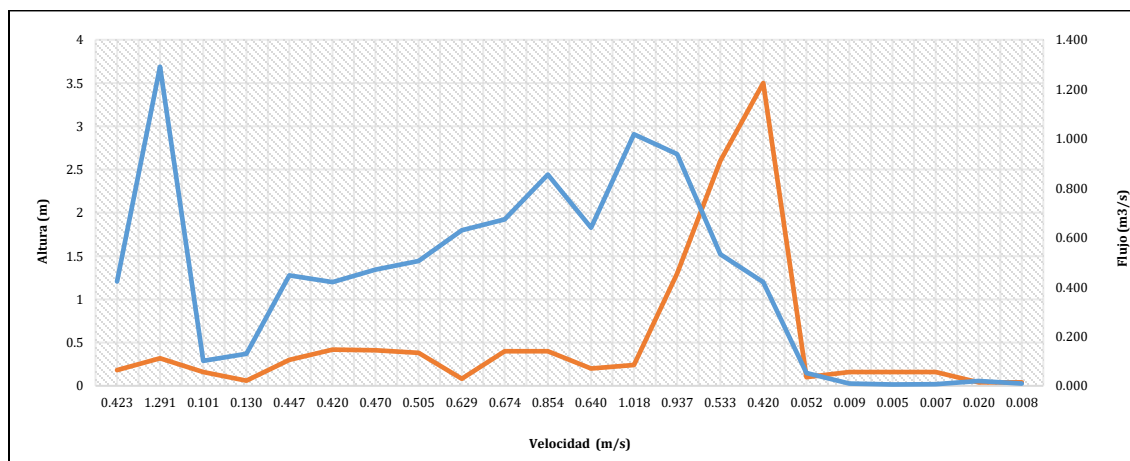


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.3.6.3 Condiciones hidráulicas iniciales.

En la siguiente figura se muestran las curvas de calibración hidráulica del río Chiriao teniendo en cuenta cada uno de los caudales de la segmentación realizada en el mismo:

Grafica N° 3. Curva de calibración hidráulica.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En la Tabla N° 20 se presentan las características hidráulicas del tramo de simulación, el cual se subdividió en 22 segmentos, numerados desde cero (0) hasta 21. Cada uno de los segmentos definidos, posee unas características hidráulicas específicas, referidas a una longitud del segmento establecida entre 0,03 y 3,348 km, cuya sumatoria corresponde a la distancia total del tramo de simulación, la definición de los segmentos dependió de las condiciones morfológicas del cuerpo de agua superficial, como ocurrió en algunos escenarios en donde se imposibilitó establecer cortes transversales. Por otro lado, en aras de considerar efectos provenientes de actividades presentadas antes de la estación E1 se tomó como referencia comparativa siete (7) kilómetros más de estudio, distancia que no fue considerada en las características hidráulicas. Cabe resaltar que, debido a que la longitud total del cuerpo de agua superficial es pequeña en comparación con otros, la segmentación de los cortes transversales del Río no permitió la generación de una curva de gastos por cortes, en algunos tramos, los cortes transversales no eran suficientes como para determinar curvas de gastos entre segmentos, es por ello que se presenta la curva de gastos general del Río Chiriaoimo.

Tabla N° 20. Características hidráulicas del tramo de simulación.

SEGMENTO	CALIDAD	LONGITUD SEGMENTO (Km)	DIFERENCIA DE ALTURA (Km)	VELOCIDAD		PENDIENTE m/m
				COEFICIENTE	EXPONENTE	
0	E1	Headwater	0,9	0,43	0,43	0,98
1		3,275	0,9	0,43	1,38	0,49
2		2,234	0,9	0,43	1,38	0,34
3		2,298	0,9	0,43	1,38	0,29
4	E2	3,348	0,9	0,43	0,45	0,49
5		0,796	0,9	0,43	0,43	0,29
6		1,171	0,9	0,43	0,45	0,22
7		1,028	0,9	0,43	0,45	0,18
8	E3	2,992	0,9	0,43	1,38	0,14
9		3,013	0,9	0,43	0,59	0,17
10		2,890	0,9	0,43	0,98	0,26
11		3,270	0,9	0,43	0,59	0,44
12	E4	0,331	0,9	0,43	0,59	0,73
13		0,447	0,9	0,43	0,59	0,34
14		0,440	0,9	0,43	0,98	0,17
15		0,339	0,9	0,43	0,85	0,13
16	E5	0,029	0,9	0,43	0,85	0,99
17		0,045	0,9	0,43	0,85	0,49
18		0,039	0,9	0,43	0,98	0,35
19		0,045	0,9	0,43	0,85	0,29

SEGMENTO	CALIDAD	LONGITUD SEGMENTO (Km)	DIFERENCIA DE ALTURA (Km)	VELOCIDAD		PENDIENTE m/m
				COEFICIENTE	EXPONENTE	
20		0,037	0,9	0,43	0,45	0,59
21	E6	0,041	0,9	0,43	0,98	0,37

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.3.7 Análisis de los resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para analizar el grado de calidad y las características actuales de la fuente de agua superficial asociada al estudio, se efectuó una caracterización física, química, microbiológica e hidráulica de las mismas. Las campañas de monitoreo y análisis de calidad de aguas, fueron desarrollados en el mes junio de 2019 para el periodo seco y en el mes de julio para el periodo lluvioso por (Laboratorios Nancy Flórez García S.A.S., 2019). Esto se llevó a cabo a partir de un método de aforo por vadeo utilizando un micromolinetete, donde se determinaron el caudal, velocidad, profundidad y ancho medio en la sección transversal evaluada. En la siguiente tabla se relacionan los resultados del monitoreo para época seca:

Tabla N° 21. Resultados de Monitoreo – Época seca.

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
		PUENTE EL TAMBO	CANCHA TRICOLOR	PUENTE E LA VEGA	FINCA LA PARRILLA	LA ESTANCI A	INICIO DE MURO DE CONTENCIÓN
Temperatura	C	18,5	24,4	25,6	24,8	33,9	32
Conductividad	umhos	127,3	313	305	350	316	297
Solidos totales	mgO ₂ /L	25,7	27,4	21	14	5	10
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	7,71	7,75	7,65	8,28	8,07	7,24
DBO (Última)	mg/L	2	2	2	2	2	2
DBO (total)	mg/L	2	2	2	2	2	2
Nitrógeno Orgánico	mg/L	2	2	2	2	2	2
NO ₃ – Nitratos	mg/L	0,886	2,35	0,886	0,886	0,886	0,928
Fósforo Orgánico	mg/L	0,085	0,068	0,063	0,055	0,05	0,05
Fósforo Inorgánico	mg/L	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
		PUENTE EL TAMBO	CANCHA TRICOLOR	PUENTE LA VEGA	FINCA LA PARRILLA	LA ESTANCIA	INICIO DE MURO DE CONTENCIÓN
Patógenos	cfu/100mL	230	16000	1600	920	49	1600
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	54,4	124	129	147	133	119
pH	U. pH	8,65	8,77	8,78	8,8	8,92	8,94

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos durante el monitoreo realizado para época lluviosa:

Tabla N° 22. Resultados de Monitoreo - Época Lluviosa.

PARÁMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
		PUENTE EL TAMBO	CANCHA TRICOLOR	PUENTE LA VEGA	FINCA LA PARRILLA	LA ESTANCIA	INICIO DE MURO DE CONTENCIÓN
Temperatura	C	18,9	23,9	28,1	25,9	26,2	26,4
Conductividad	umhos	145,2	359	328	373	370	361
Sólidos totales	mgO ₂ /L	10,2	7,5	7,9	6,59	5	5
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	7,99	7,74	7,77	8	8,67	8,49
DBO (ultima)	mg/L	2	2	2	2	2	2
DBO (total)	mg/L	2	2	2	2	2	2
Nitrógeno Orgánico	mg/L	2	2	2	2	2	2
NO ₃ - Nitratos	mg/L	1,49	1,92	1,81	1,81	1,61	0,888
Fosforo Orgánico	mg/L	0,077	0,067	0,075	0,077	0,062	0,074
Fosforo Inorgánico	mg/L	0,102	0,075	0,417	0,098	0,088	0,088
Patógenos	cfu/100mL	920	1600	1600	2400	2400	790
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	68,8	142	136	179	171	165
pH	U. pH	8,61	8,72	8,75	8,12	8,93	9

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los resultados antes mencionados, fueron utilizados en la ejecución de la simulación para determinar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Chiriaimo. La modelación fue realizada para escenarios actual, corto, mediano y largo plazo. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados promedio que se implementaron:

Tabla N° 23. Resultados promedio de Monitoreo – Época Seca – Época Lluviosa.

Parámetro	Unidad	Punto el Tambo			Cancha la Tricolor			Punto la Vega			Finca la Parrilla			La Estancia			Inicio de muro de Contención		
		Seco	Lluvioso	Promedio	Seco	Lluvioso	Promedio	Seco	Lluvioso	Promedio	Seco	Lluvioso	Promedio	Seco	Lluvioso	Promedio	Seco	Lluvioso	Promedio
Temperatura	C	18,50	18,90	18,70	24,40	23,90	24,15	25,60	28,10	26,85	24,80	25,90	25,35	33,90	26,20	30,05	32,00	26,40	29,20
Conductividad	umhos	127,30	145,20	136,25	313,00	359,00	336,00	305,00	328,00	316,50	350,00	373,00	361,50	316,00	370,00	343,00	297,00	361,00	329,00
Sólidos totales	mgO ₂ /L	25,70	10,20	17,95	27,40	7,50	17,45	21,00	7,90	14,45	14,00	6,59	10,30	5,00	5,00	5,00	10,00	5,00	7,50
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	7,71	7,99	7,85	7,75	7,74	7,75	7,65	7,77	7,71	8,28	8,00	8,14	8,07	8,67	8,37	7,24	8,49	7,87
DBO (última)	mgO ₂ /L	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
DBO (total)	mgO ₂ /L	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Nitrógeno Orgánico	mgO ₂ /L	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
NO ₃ - Nitratos	mgO ₂ /L	0,89	1,49	1,19	2,35	1,92	2,14	0,89	1,81	1,35	0,89	1,81	1,35	0,89	1,61	1,25	0,93	0,89	0,91
Fosforo Orgánico	mgO ₂ /L	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06
Fosforo Inorgánico	mgO ₂ /L	0,08	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,42	0,25	0,08	0,10	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08
Patógenos	cfu/100 mL	230,00	920,00	575,00	16000,00	1600,00	8800,00	1600,00	1600,00	1600,00	920,00	2400,00	1660,00	49,00	2400,00	1224,50	1600,00	790,00	1195,00
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	54,40	68,80	61,60	124,00	142,00	133,00	129,00	136,00	132,50	147,00	179,00	163,00	133,00	171,00	152,00	119,00	165,00	142,00
pH	s.u.	8,65	8,61	8,63	8,77	8,72	8,75	8,78	8,75	8,77	8,80	8,12	8,46	8,92	8,93	8,93	8,94	9,00	8,97

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.4 DETERMINACIÓN DE CARGA CONTAMINANTES

La carga contaminante se puede definir como la masa de un contaminante generado o vertido en una unidad de tiempo. Con el fin de determinar las condiciones de calidad del río Chiriaimo, se calcularon las Cargas Contaminantes de los parámetros establecidos en el Decreto 2767 de 2012 referente al cobro de Tasas Retributivas (DBO5 y SST). Los cálculos se efectúan con las concentraciones de los parámetros de interés y los datos de caudal obtenidos en cada una de las estaciones de monitoreo pertenecientes a las dos jornadas de caracterización. Adicionalmente se tiene en cuenta la información consignada en el acuerdo 002 del 22 de marzo de 2019 “por medio del cual se define la meta global, las metas individuales y grupales de Carga Contaminante para los parámetros de DBO5 y SST, en los cuerpos de agua o tramos de los mismos en jurisdicción de Corpocesar, para el periodo 2019 – 2023”.

El cálculo de las cargas contaminantes se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$CC = [] * Q * 0,0864$$

Dónde:

CC: es la carga contaminante en kg/día.

[]: Es la concentración de DBO5 o SST en mg/L.

0,0864: es el factor de Conversión para obtener el resultado en Kg.

Q: es el caudal vertido L/sg.

Las Tabla N° 24 y Tabla N° 25, consignan los resultados de la carga contaminante para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), obtenidos durante las dos campañas de monitoreo sobre río Chiriaimo.

Tabla N° 24. Carga contaminante DBO Río Chiriaimo

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1			CAMPAÑA DE MONITOREO No 2		
	DBO (mg/L)	Carga contaminante DBO (Kg/año)	Caudal (L/s)	DBO (mg/L)	Carga contaminante DBO (Kg/año)	Caudal (L/s)
E-1	2	22705.92	360	2	14506.56	230
E-2	2	23967.36	380	2	23336.64	370
E-3	2	34058.88	540	2	26490.24	420
E-4	2	54872.64	870	2	25859.52	410
E-5	2	2522.88	40	2	1261.44	20
E-6	2	1261.44	20	2	1892.16	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 25. Carga contaminante SST Río Chiriaimo

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1			CAMPAÑA DE MONITOREO No 2		
	SST (mg/L)	Carga contaminante SST (Kg/año)	Caudal (L/s)	SST (mg/L)	Carga contaminante SST (Kg/año)	Caudal (L/s)
E-1	25.7	291771.07	360	10.2	73983.46	230
E-2	27.4	328352.83	380	7.5	87512.40	370
E-3	21	357618.24	540	7.9	104636.45	420

E-4	14	384108.48	870	6.59	85207.12	410
E-5	5	6307.20	40	5	3153.60	20
E-6	10	6307.20	20	5	4730.40	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

A partir de los resultados presentados en las tablas anteriores, se encuentra que el río Chiriaimo presenta una condición de calidad del agua aceptable en algunas de las estaciones y buena calidad en otras, con incidencia de descargas de aguas residuales y escorrentías, proveniente de los centros poblados y de los asentamientos dispersos que predominan de la estación del Tambo hacia aguas abajo.

Estas características revelan la importancia de establecer acciones que propendan a la conservación del recurso hídrico y que favorezcan las condiciones de buena calidad del agua, especialmente enfocados a usos del suelo y actividades productivas sostenibles, así como a optimización de plantas de tratamiento de aguas residuales, campañas de reconocimiento de usuarios y monitoreo de vertimientos y cuerpos hídricos. Sin embargo, este análisis deberá conjugarse con el de los siguientes capítulos, obtenidos a partir de los resultados hidrobiológicos y socioambientales, entendiendo que las condiciones del recurso hídrico deben analizarse desde un enfoque multicriterio, dada su interacción con el ecosistema y su incidencia sobre el ser humano y las comunidades.

2.5 PERFILES DE CALIDAD PARA LOS CUERPOS HÍDRICOS PRIORIZADOS

El siguiente componente se basa en el análisis de los principales parámetros físicoquímicos de la del río Chiriaimo. Esto se logró a través de la elaboración de gráficos que permitan observar la evolución espacial de algunos parámetros, según los resultados obtenidos a partir del monitoreo del agua superficial durante este estudio y la evolución temporal según los resultados históricos con los que cuenta la Corporación, a partir de lo obtenido en otros proyectos.

Como ya se mencionó, esta información permite construir perfiles de calidad por medio de los cuales es posible conocer la evolución espacial y temporal de las condiciones del cuerpo hídrico, considerando el cambio que sufre un determinado parámetro al pasar de un punto a otro de la red o teniendo en cuenta los distintos resultados obtenidos para un mismo punto a través de las distintas campañas de monitoreo.

Es importante mencionar que, en la mayoría de los casos, los parámetros analizados en laboratorio vienen reportados según el límite de detección del

instrumento, por lo que no siempre se cuenta con el valor exacto que permita evaluar el cambio entre distintos puntos, y que los resultados igualmente dependen de las condiciones en las que se realizó la toma de muestras en cada campaña.

2.5.1 Aforos de caudal

El caudal determinado en cada estación por campaña, fue un referente necesario para el análisis de las condiciones de calidad en cada punto, puesto que en función de la cantidad de agua presente en él se puede tener un estimativo de cuan concentrada o diluida se encuentra una sustancia o parámetro. En este sentido, es normal por ejemplo encontrar concentraciones más bajas en épocas húmedas y más altas en épocas secas, así que, en la Tabla N° 26 y la Grafica N° 4 se presentan los resultados de los caudales aforados y el comportamiento de estos en cada punto de monitoreo, para las dos campañas.

Cabe aclarar que el río Chiriaimo en las dos campañas de muestreo desarrolladas, conservó agua hasta el punto denominado como inicio de muros de contención, a un kilómetro aproximadamente del puente ubicado sobre la vía nacional que conduce al municipio de la Paz – Cesar, desde este punto hasta la desembocadura al río Cesar se encuentra completamente seco.

Tabla N° 26. Caudales aforados en las estaciones de monitoreo en las campañas correspondiente a temporada seca (CAMP1) y húmeda (CAMP2).

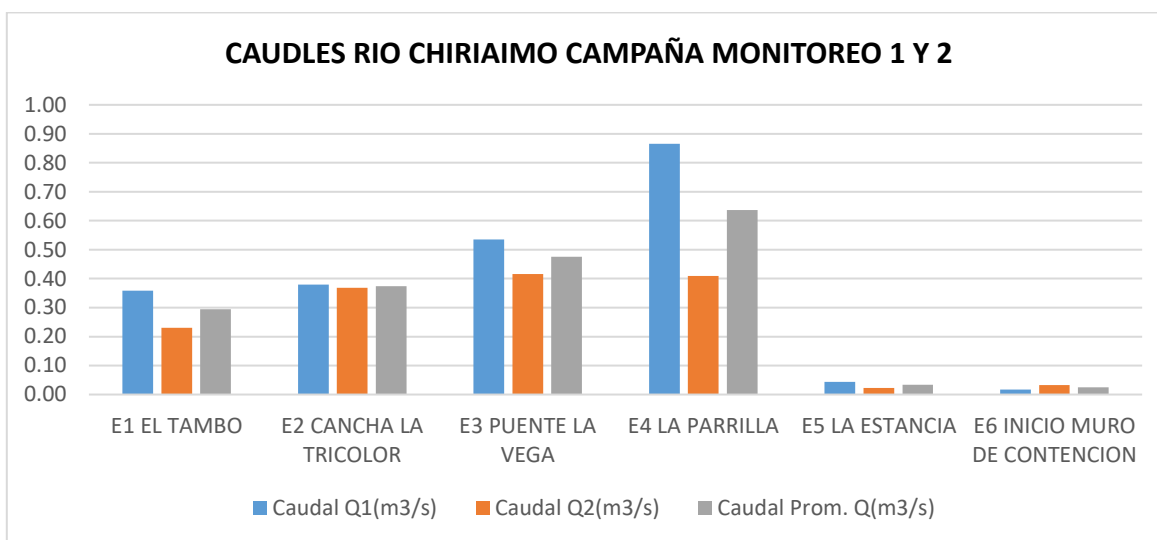
Estación	Nombre	Q C1(m³/sg)	Q C2(m³/sg)
E-1	Puente el Tambo	0.36	0.23
E-2	Cancha la Tricolor	0.38	0.37
E-3	Puente la Vega	0.54	0.42
E-4	Finca la Parrilla	0.87	0.41
E-5	La Estancia	0.04	0.02
E-6	Inicio de muro de Contención	0.02	0.03

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La primera campaña fue programada en temporada seca en el mes de Junio y la segunda buscando la temporada de lluvias del mes de Julio, en campo se encontró que esta situación se cumplió para la primera y en la segunda un periodo de transición con lluvias de intensidad moderadas, podría adjudicarse tal comportamiento a la incidencia del cambio climático que afecta actualmente al

planeta. Esta situación es importante a la hora de analizar los resultados fisicoquímicos, puesto que las concentraciones suelen comportarse también de acuerdo al caudal. La información referente a la campaña de aforos y sus respectivos cálculos se encuentran disponibles en el Anexo N° 3

Grafica N° 4. Caudales Rio Chiriaoimo campaña de monitoreo 1 y 2



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.5.2 Condiciones de calidad actual

El análisis de la calidad para los cuerpos hídricos priorizados comprende una primera aproximación a las condiciones del recurso a partir del análisis de los principales parámetros fisicoquímicos. Estos son comparados con la normatividad nacional vigente (Decreto 1076 de 2015), la cual rige los usos del agua en función de la concentración de estos parámetros, debido a sus implicaciones sobre la salud humana.

En las tablas y figuras que se presentan en este apartado, se presentan los resultados reportados por el laboratorio para los parámetros: Coliformes totales, DBO, DQO, OD, SST y pH, a lo largo del monitoreo del cuerpo priorizado, los cuales pueden consultarse en el Anexo N° 4

En las figuras a observar, los valores se encuentran representados por barras verticales, las cuales se encuentran dispuestas según el orden de confluencia de los cuerpos de agua, siendo azul oscuro las barras que representan los cuerpos priorizados, azul claro sus afluentes directos y rojo los vertimientos que tienen lugar sobre estos. Los valores de los vertimientos se presentan en un eje secundario, puesto que suelen representarse en una escala numérica distinta con respecto al

agua natural. Finalmente, y de forma transversal a las barras azules de cada figura, se encuentran diferenciados por colores los límites permisibles para los usos que estipula la norma, para aquellos parámetros en que tenga lugar.

2.5.2.1 Coliformes Totales

Este parámetro hace referencia a las enterobacterias que se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas. Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, que se encuentran en el intestino del hombre y de los animales, pero también en otros ambientes como el agua, el suelo, las plantas, etc.

Un grupo perteneciente a los coliformes totales son los coliformes fecales, que comprenden principalmente a la *Escherichia Coli* y algunas cepas de *Enterobacter* y *Klebsiella*. Su origen es principalmente fecal y por esto son considerados uno de los principales indicadores de contaminación del agua.

Una elevada concentración de coliformes en el agua puede tener implicaciones para la salud humana, por lo que suele ser un parámetro muy restringido por la normatividad para agua de consumo humano, agrícola y recreativo.

En la Tabla N° 27 se consignan los resultados obtenidos durante la primera y segunda campaña de monitoreo para los coliformes totales, registrados en los puntos dispuestos sobre el río Chiriaimo.

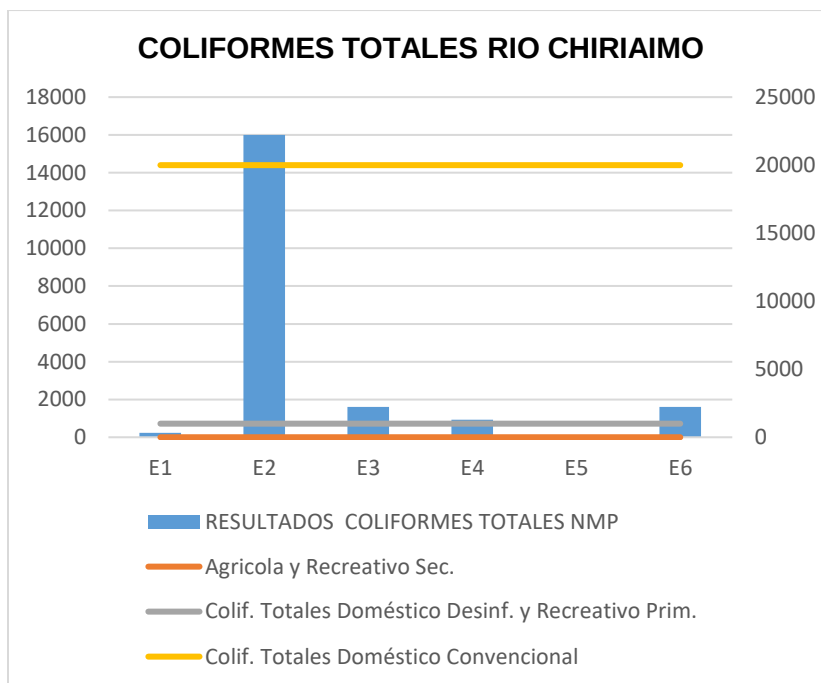
El comportamiento de estos valores se visualiza en la Grafica N° 5 y Grafica N° 6. En el análisis, las líneas transversales representan los límites normativos para los usos: doméstico con desinfección y recreativo primario, doméstico con tratamiento convencional; y agrícola con recreativo secundario, por ser los que restringen la concentración de los coliformes totales en el agua.

Tabla N° 27. Resultados primera y segunda campaña de monitoreo coliformes totales.

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Caudal (m³/sg)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Caudal (m³/sg)
E-1	230	0.36	920	0.23
E-2	16000	0.38	1600	0.37
E-3	1600	0.54	1600	0.42
E-4	920	0.87	2400	0.41
E-5	49	0.04	2400	0.02
E-6	1600	0.02	790	0.03

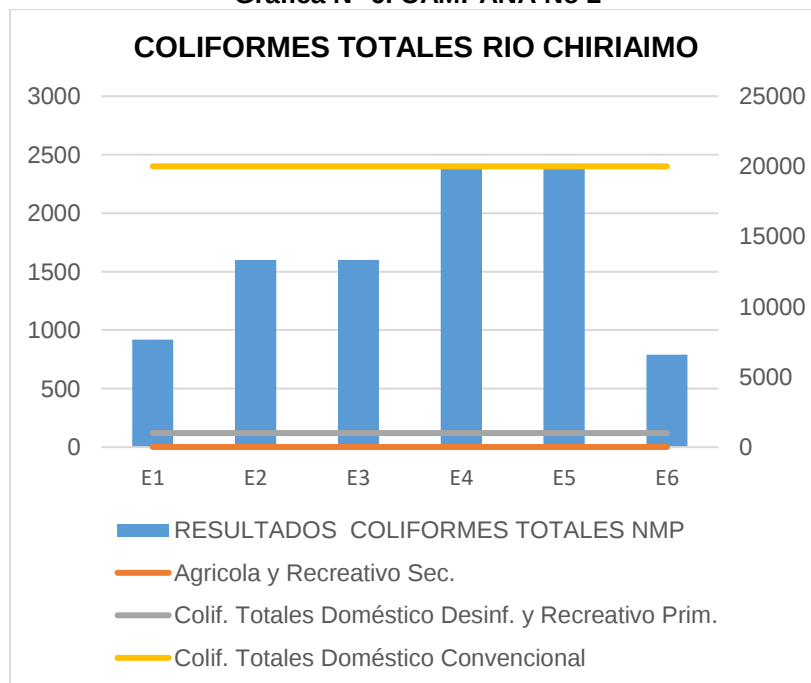
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Grafica N° 5. CAMPAÑA No 1



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Grafica N° 6. CAMPAÑA No 2



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.5.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición en condiciones aerobias (Sawyer, 2001). Dicho en otras palabras, este parámetro es proporcional al contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua, la cual puede ser descompuesta por los microorganismos presentes en ella y que consumen oxígeno. Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica en la muestra, mayor será la cantidad de oxígeno requerido para que los microorganismos puedan degradarlo.

La Tabla N° 28 consigna los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) obtenidos durante las dos campañas de monitoreo realizadas para el desarrollo del PORH.

Tabla N° 28. Concentración de la DBO total en el rio Chiriamo – primera campaña

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	Valor DBO (mg/L O ₂)	Caudal (m ³ /sg)	Valor DBO (mg/L O ₂)	Caudal (m ³ /sg)
E-1	<2,00	0.36	<2,00	0.23
E-2	<2,00	0.38	<2,00	0.37
E-3	<2,00	0.54	<2,00	0.42
E-4	<2,00	0.87	<2,00	0.41
E-5	<2,00	0.04	<2,00	0.02
E-6	<2,00	0.02	<2,00	0.03

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Es importante considerar que la normatividad no establece limite permisible para la DBO en ningún uso del agua, salvo para los sistemas de remoción, por lo que su concentración no implica restricción a ningún uso del agua.

Para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno, se encontró que no existen mayores impactos. Si bien no se identificaron valores altos en ninguna estación en las dos campañas realizadas; este comportamiento se asoció principalmente a que las descargas que realizan las viviendas dispersas y los centros poblados asentados aguas arriba de las estaciones monitoreadas no aportan cargas orgánicas que la fuente no sea capaz de asimilar.

En todas las estaciones se obtuvieron valores por debajo del límite de detección correspondiente a 2,0 mg/L, indicando que la fuente está en la capacidad de hacer

una depuración eficiente de las descargas que recibe, reflejada en las concentraciones de oxígeno reportadas, las cuales estuvieron cercanas al punto de saturación en todos los puntos.

2.5.2.3 Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) brinda información acerca de la concentración de materia orgánica en los residuos domésticos e industriales. Este parámetro hace referencia a la cantidad total de oxígeno que se requiere para oxidar esta materia por medios químicos (Sawyer, 2001).

La Tabla N° 29 consigna los resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para las estaciones en el río Chiriaimo. En la primera y segunda campaña se observa un valor constante de <20 mg/L, correspondiente al límite de detección del instrumento que lo determina en laboratorio. Esta característica condiciona en esos casos la variabilidad del parámetro en el cuerpo de agua para los casos en que su concentración es inferior a ese valor.

Tabla N° 29. consigna los resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	Valor DQO (mg/L O ₂)	Caudal (m ³ /sg)	Valor DQO (mg/L O ₂)	Caudal (m ³ /sg)
E-1	<20	0.36	<20	0.23
E-2	<20	0.38	<20	0.37
E-3	<20	0.54	<20	0.42
E-4	<20	0.87	<20	0.41
E-5	<20	0.04	<20	0.02
E-6	<20	0.02	<20	0.03

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

El comportamiento obtenido para la DQO en las dos campañas de monitoreo, fue inferior a 20 mg/L, lo cual muestra que la incidencia de materia orgánica en las estaciones analizadas no incide en la alteración de la calidad del agua del río Chiriaimo.

2.5.2.4 Oxígeno Disuelto

Este parámetro es un indicador de contaminación en el agua, pues en función de la cantidad de oxígeno que presenta la fuente hídrica o de su concentración se propicia

o no la presencia de formas de vida en ella, las cuales a su vez se podrán encargar de depurar la materia orgánica presente.

La clasificación de la calidad del agua, en función de la concentración del OD (mg/L), viene dada de la siguiente manera: 0 para aguas en condiciones de anoxia (ausencia de oxígeno) o mala calidad; de 0 a 5 para aguas en condiciones de hipoxia (bajas en oxígeno) o mala calidad; 5-8 para aguas en condiciones de calidad aceptables; 8-12 para aguas con buena concentración de oxígeno y de buena calidad; y mayores a 12 para aguas en condiciones de sobresaturación de oxígeno (Sawyer, 2001). Cada una de estas categorías implica consecuencias ecosistémicas, tales como la muerte masiva de organismos aerobios y desaparición de especies sensibles o adecuadas condiciones para la vida y plena producción fotosintética, respectivamente.

Tabla N° 30. Resultados obtenidos de oxígeno disuelto (OD) en las estaciones de monitoreo del rio Chiriaimo.

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	Valor OD (mg/L)	Caudal (m ³ /sg)	Valor OD (mg/L)	Caudal (m ³ /sg)
E-1	7.71	0.36	7.99	0.23
E-2	7.75	0.38	7.74	0.37
E-3	7.65	0.54	7.77	0.42
E-4	8.28	0.87	8.00	0.41
E-5	8.07	0.04	8.67	0.02
E-6	7.74	0.02	8.49	0.03

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros que mayor variabilidad presenta, ya que depende no solo de las condiciones de calidad, sino también de las condiciones hidráulicas de la fuente, como la composición del lecho y el régimen de flujo.

El rio Chiriaimo, mostró algunas fluctuaciones manteniéndose dentro de los límites 5-8 para aguas en condiciones de calidad aceptables; 8-12 para aguas con buena concentración de oxígeno y de buena calidad.

Para las estaciones ubicadas aguas abajo, se notó una recuperación de oxígeno, influenciada principalmente por el ingreso de afluentes de buena calidad, y por la composición del lecho que en su mayor parte es pedregoso y permite la reoxigenación continua de la fuente. El valor máximo obtenido en las dos jornadas, se presentó en el E5 correspondiente a 8.67 mg/L. Esta concentración se asocia a

fuentes de buena calidad; esta condición obedece al paso de la luz solar en las aguas con baja profundidad.

2.5.2.5 Sólidos Suspendidos Totales

Este parámetro se refiere a la concentración de solidos que se encuentran en estado de suspensión en el agua, lo cual puede estar relacionado a la cantidad de sedimentos que el cuerpo de agua arrastra en su corriente. Estos sedimentos bien pueden ser materia orgánica o partículas inertes en suspensión, como arenas y material fino, lo que a menudo le confiere ciertas características aparentes al agua, como turbiedad. Estos pueden ser removidos por medios mecánicos y en algunos casos sedimentan luego de que el agua se encuentra en reposo.

Tabla N° 31. Resultados obtenidos de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	Valor SST (mg/L)	Caudal (m ³ /sg)	Valor SST (mg/L)	Caudal (m ³ /sg)
E-1	25.7	0.36	10.2	0.23
E-2	27.4	0.38	7.50	0.37
E-3	21.0	0.54	7.90	0.42
E-4	14.0	0.87	6.59	0.41
E-5	<5.0	0.04	<5.0	0.02
E-6	10.0	0.02	<5.0	0.03

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

El comportamiento de los sólidos suspendidos en rio Chiriamo, presentó algunas variaciones a lo largo de la corriente, en donde los valores máximos se obtuvieron en las estaciones ubicadas aguas arriba, con valores que oscilaron entre 27.4 mg/L y <5.0 mg/L; lo cual está directamente relacionado con el desarrollo de las actividades humanas y las asociadas a procesos erosivos.

2.5.2.6 Potencial de Hidrógeno

El pH expresa la magnitud de acidez o alcalinidad. Es la manera de expresar la concentración de los iones de hidrógeno o actividad del ion hidrógeno. La acidez aumenta cuando el pH disminuye y la alcalinidad aumenta con el incremento del pH, teniendo en cuenta que el pH está representado en una escala que oscila de 0 a 14 (Sawyer, 2001).

Las figuras que se presentan a continuación, además de representar de manera gráfica los valores de pH obtenidos de manera in-situ en las campañas de monitoreo, también cuenta con los intervalos de pH de acuerdo al uso del agua. Los valores de los intervalos son obtenidos a partir del Decreto 1594 de 1984, artículos 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 45. Como se puede observar en las siguientes figuras, las líneas horizontales amarillas representan el valor máximo y mínimo (6.5 – 8.5 unidades de pH) para consumo humano y doméstico, que solo requiere desinfección para su potabilización. Para consumo humano y doméstico que requiere tratamiento convencional, para fines recreativos de contacto primario y secundario y para la conservación de fauna y flora en aguas frías y dulces, el intervalo está representado por las líneas horizontales negras (5.0 – 9.0 unidades de pH). Por último, la línea verde suavizada se refiere al valor mínimo (5.5 unidades de pH) para uso agrícola, cuyo valor máximo es igual que el de para consumo humano y doméstico que requiere tratamiento convencional.

Tabla N° 32. Valores del pH primera 1 y 2 segunda campaña monitoreo rio Chiriaimo

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	pH (Unidad pH)	Caudal (m ³ /sg)	pH (Unidad pH)	Caudal (m ³ /sg)
E-1	8.65	0.36	8.61	0.23
E-2	8.77	0.38	8.72	0.37
E-3	8.78	0.54	8.75	0.42
E-4	8.80	0.87	8.12	0.41
E-5	8.92	0.04	8.93	0.02
E-6	8.94	0.02	9.00	0.03

Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019

Los puntos monitoreados, mostraron un comportamiento estable, con valor máximo de 9.0 U. de pH y mínima 8.12 U. de pH, en la segunda campaña, en la primera campaña se evidenció un máximo de este parámetro 8.94 U. de pH y mínimo de 8.65, analizando estos valores con base en los criterios normativos expuestos anteriormente se puede inferir una afectación mínima en la fuente y podría utilizarse en cualquiera de los usos estipulados en la norma.

Los resultados reportados cumplieron con los criterios de calidad para la destinación de agua establecidos en el Decreto 1594 de 1984, para consumo humano y doméstico, que solo requiere desinfección para su potabilización y tratamiento convencional, para fines recreativos de contacto primario y secundario, para uso

agrícola y para la conservación de fauna y flora en aguas frías y dulces en las estaciones de monitoreo.

El río Chiriao presenta una buena asimilación en las variaciones de pH que se presentan en la corriente a pesar de las descargas de aguas residuales domésticas que aportan los centros poblados de San José de Oriente y Betania.

2.5.3 Índice de calidad para los cuerpos hídricos priorizados

Los índices de calidad del agua, son mecanismos mediante el cual se califican diferentes cualidades de las aguas y, por lo tanto, complementan el panorama ambiental de un curso hídrico, tal como lo demuestra la correlación próxima a cero entre ellos. Es importante aclarar que para su determinación se consideraron los resultados de los monitoreos para época seca y lluviosa.

Para el presente estudio, se tuvieron en cuenta los siguientes índices de calidad del agua:

➤ Macroinvertebrados bentónicos primera campaña de monitoreo

La comunidad incluye a todos los organismos que viven en el fondo de los cuerpos de agua, se encuentran enterrados o sobre el sedimento, adheridos a piedras, rocas o a cualquier otro sustrato (Roldán y Ramírez, 2008), las zonas más propicias para presentar las mayores diversidades son las áreas someras cercanas a las orillas (zona litoral), ya que el oxígeno y la fuentes de alimento disminuyen a medida que aumenta la profundidad (Roldan, 2003; Liévano y Ospina, 2007). La composición de los organismos bentónicos depende de la calidad del agua y los sustratos de los sistemas en los que se encuentren (Ramírez y Viña, 1998). Los macroinvertebrados bentónicos han sido utilizados ampliamente como indicadores de la calidad del agua, esto debido a que cumplen varias de las características que tienen los bioindicadores, como por ejemplo, una excelente diversidad de organismos, variedad en los requerimientos ecológicos, fisicoquímicos y de hábitat, entre las presiones fisicoquímicas que se pueden detectar con este grupo se encuentran, la contaminación térmica y orgánica, cambios en la mineralización del agua y eutrofización del sistema (Confederación hidrográfica del Ebro, 2005a).

Tabla N° 33. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP.

CLASE	CALIDAD	VALOR DEL BMWP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	150	Aguas muy limpias, no contaminadas o poco alteradas	Azul
		101-120		
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldan y Ramirez (2008).

Tabla N° 34. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col.

FAMILIAS	PUNTAJE BMWP/COL
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polytoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dysticidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsyphidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Halplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae.	1

Fuente: Laboratorios Nancy Flórez, 2019

➤ Perifiton

El Perifiton es un conjunto compuesto básicamente por microalgas que conforman una biopelícula sobre las superficies sumergidas en los cuerpos de agua, su composición depende de las características del agua, del tipo y rugosidad del sustrato, la comunidad cumple un papel importante en los sistemas hídricos por varias razones, produce metabolitos para la cadena alimenticia, ofrece una alta tasa de reciclaje de nutrientes, actúa como indicador de la calidad del agua y sirve de alimento para diferentes organismos heterótrofos (Roldán y Ramírez, 2008). En los sistemas lóticos el perifiton es el principal punto de entrada energía al capturar los

rayos solares y convertirlos en compuestos orgánicos, tal y como lo hace el fitoplancton en los sistemas lenticos y en las áreas marinas (Ramírez y Viña, 1998).

El perifiton es considerado un excelente bioindicador debido a la sensibilidad que tiene a los cambios y a la respuesta rápida a un amplio rango de presiones fisicoquímicas, además por permanecer unida a los sustratos en los cuerpos de agua, es una comunidad con un grado alto de confiabilidad para la identificación de los cambios en los sistemas hídricos a corto y largo plazo (Confederación hidrográfica del Ebro, 2005a).

➤ Bioindicación

La bioindicación se fundamenta en que todo organismo es guía de las condiciones del medio en el que se encuentra, ya que su presencia indica adaptaciones que están acordes con el sistema. Utiliza la presencia y abundancia de dicho individuo para señalar algún proceso físico o químico que se esté dando en el ecosistema. Es importante aclarar que aunque se hable de individuo indicador, realmente se refiere a la población de dicho individuo (Roldán, 2003). Tal y como lo explica Pinilla (2000), cualquier evento ocurrido al interior de un sistema, provocará un cambio en sus características originales, estos cambios pueden ser evidenciados inmediatamente o incluso años después de ocurrida la perturbación.

2.5.4 Análisis de la información

El planteamiento del estudio se basó en el cálculo y la comparación de las riquezas y abundancias de las comunidades presentes en los puntos establecidos, con el fin de identificar la estabilidad o causas que estén moldeando las poblaciones acuáticas, adicionalmente el análisis estadístico permite desarrollar herramientas que pueden establecer un criterio del estado del sistema. Se aplicaron índices para definir la diversidad, entre ellos Diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia de Simpson (λ') y equidad de Pielou (J'). Las matrices e índices se elaboraron empleando el programa Excel para Windows 2013 y el programa estadístico Past. Las matrices e índices se elaboraron empleando los programas Excel para windows 2013 y el programa estadístico Past.

2.5.4.1 Resultados E1 El Tambo

➤ Perifiton

En el punto de muestreo puente El Tambo en el río Chiriaimo, el ensamblaje perifítico estuvo conformado por ocho (8) morfoespecies distribuidas en una (1) división, dos (2) clases, cuatro órdenes e igual número de familias (Tabla N° 35).

Las diatomeas o algas bacilariofíceas son uno de los grupos algales de mayor dominancia en los ambientes tropicales, dado su rápido potencial colonizador al ser capaces de ocupar sustratos en períodos cortos de tiempo que varían desde un día hasta varias semanas (Rodrigues et al., 2003), pues gran parte de sus representantes presentan estructuras especializadas de fijación al sustrato como pedúnculos mucilaginosos largos y cortos, producción de matrices mucilaginosas y colonias en forma de estrella o ramos fijados por la base (Round, 1991). Sus reducidos tamaños facilitan una rápida fijación en superficies menores no accesibles a competidores de mayor tamaño (Rodrigues et al., 2003). Lo anterior puede explicar la ausencia de otras divisiones algales en el ensamblaje, además de que nos da una idea del estado de intervención de este tramo del río, pues no se observaron ni cianobacterias ni euglenófitas relacionadas con cargas de materia orgánica y exceso de nutrientes (Roldán y Ramírez, 2008).

Tabla N° 35. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en Puente El Tambo, Río Chiriaoimo, Cesar, Colombia.

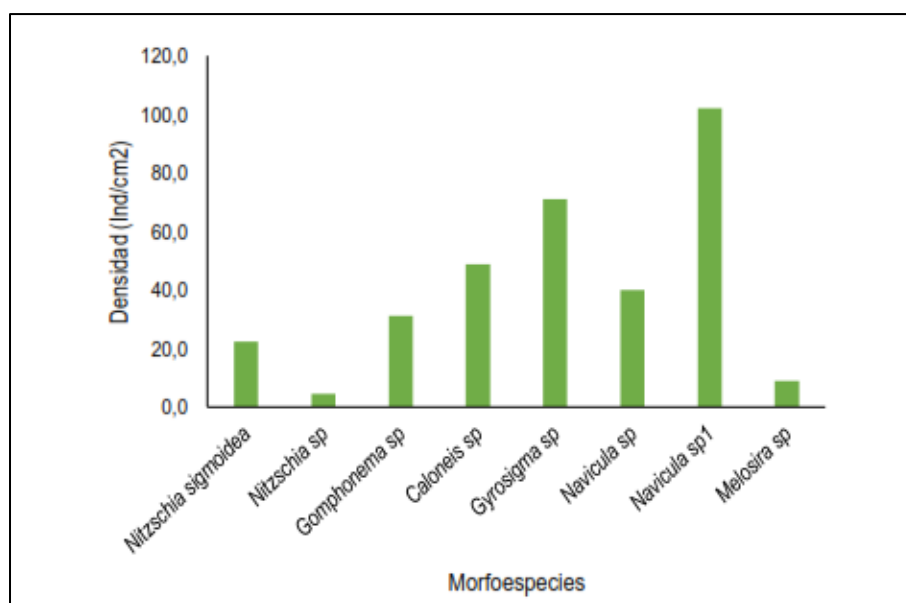
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	PUENTE EL TAMBO
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	22,2
				<i>Nitzschia sp</i>	4,4
		Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp</i>	31,1
				<i>Caloneis sp</i>	48,8
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma sp</i>	71,0
				<i>Navicula sp</i>	40,0
				<i>Navicula sp1</i>	102,1
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira sp</i>	8,9
Total (Ind/cm ²)					328,6

Fuente: Laboratorios Nancy Flórez, 2019

Las morfoespecies con las contribuciones más importantes a la densidad total fueron *Navicula sp1*, *Gyrosigma sp* y *Caloneis sp* con densidades de 102,1 Ind/cm², 71,0 Ind/cm² y 48,8 Ind/cm² respectivamente, mientras que las menos representativas fueron *Nitzschia sp*, y *Melosira sp* con densidades que no alcanzan los 10 Ind/cm² (Figura 3). Los miembros del género *Navicula* se relacionan con turbulencia, sedimentos y conductividad altos (Pinilla, 2000) además es uno de los más extendidos, crece en ambientes oscuros y carentes de CO₂, debido a que posee ciertas sustancias de alto valor energético o fácilmente digeribles (Ramírez, 2000). *Gyrosigma* por su parte, se asocia con turbulencia y baja transparencia (Donato, 1987). Entre las variables ambientales que influyen la estructura de las comunidades perifíticas en ambientes lóticos, la velocidad y la turbulencia son fundamentales debido a que condicionan la biodisponibilidad de los nutrientes e

influyen en la capacidad de adhesión de las algas al sustrato, afectando la productividad y la arquitectura de la comunidad (Wetzel, 1983). Además, su distribución es altamente dependiente de las características del sustrato y la dinámica física del entorno (Stevenson et al., 1996), así, la geología, topografía y el uso del suelo en el área de influencia directa de los cuerpos de agua son factores relevantes en la ecología de estos organismos (Potapova y Donald, 2002). En general, las densidades encontradas en este tramo del río fueron bajas y congruentes con sistemas oligotróficos, según McIntyre (1973), bajas biomásas perifíticas en pequeñas corrientes son parcialmente el resultado del efecto de la reducción de la luz por una densa cobertura vegetal terrestre. No obstante, se debe tener en cuenta que no sólo la luz facilita el crecimiento algal, sino la interacción de otros factores como la disponibilidad de nutrientes, el tipo de sustrato, la presión competitiva y la herbivoría que afectan el crecimiento del fitoperifiton (Ramírez, 2000).

Grafica N° 7. Densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los valores de los índices ecológicos calculados sugieren que el ensamblaje perifítico registrado en el punto de muestreo “Puente El Tambo” presenta una diversidad baja pues Shannon-Weaver arrojó valores inferiores a dos (2), la equitatividad fue alta y cercana a la unidad, esto es por la baja prevalencia de morfoespecies que hacen al ensamblaje uniforme, por su parte el índice de dominancia de Simpson presentó valores cercanos a Morfoespecies cero y congruentes con los de equitatividad, en cuanto al índice de Margalef obtuvo valores

indicadores de diversidad baja e inferiores a dos, los cuales según Margalef (1995) se corresponden con sistemas de baja diversidad (Tabla N° 36).

Tabla N° 36. Índices ecológicos obtenidos del ensamblaje perifítico registrado en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

INDICE	RIQUEZA	DENSIDAD	DOMINANCIA	SHANNON-WEAVER	MARGALEF	EQUITATIVIDAD
	8	328,6	0,1947	1,795	1,21	0,8631

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

➤ Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de macroinvertebrados en el punto de muestre “puente El Tambo” estuvo conformada por 15 familias vinculadas a dos (2) divisiones, dos (2) clases y seis (6) órdenes (Tabla N° 37) la clase Insecta de la división Arthropoda fue la de mayor proporción de familias, dentro de ésta el orden más representativo fue Coleoptera ya que contó con el 33% de la riqueza, seguido de Diptera (27%), Ephemeroptera (13%), Trichoptera (13%), Architaenioglossa (7%) y Odonata (7%).

Tabla N° 37. Clasificación taxonómica y densidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

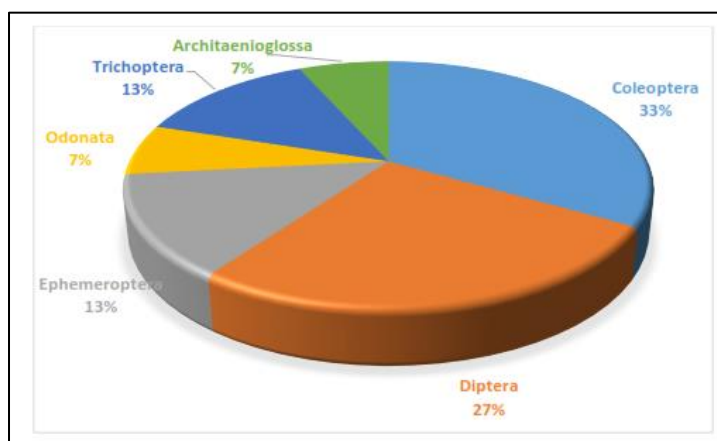
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	PUENTE EL TAMBO
			Chronomidae (Pupa)		4,4
			Tipulidae	<i>Tipula sp</i>	2,2
			Simulidae		2,2
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae		4,4
			Tricorythidae		6,7
		Odonata	Calopterygidae		13,3
		Trichoptera	Hydropsychidae		188,9
			Helicopsychidae		4,4
Mollusca	Gastropoda	Architaenioglossa	Ampullaridae	<i>Pomacea sp</i>	11,1
Total (Ind/m²)					391,1

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

Los coleópteros son uno de los grupos más diversos de la zona tropical, las familias más abundantes son Elmidae, Ptilodactylidae y Psephenidae y, en general, están asociadas a aguas de buena calidad ambiental (Arias-Díaz et al. 2007;). En el tramo estudiado del río Chiriaimo las familias representantes de este orden fueron Elmidae, Hydrophilidae, Ptilodactylidae y Dytiscidae, la primera relacionada con aguas limpias (Machado y Roldán, 1981), mientras que Hydrophilidae se asocia con aguas más eutróficas pues su tolerancia ambiental no es tan restringida al comparar con las familias Ptilodactylidae y Dytiscidae, las cuales requieren de concentraciones de oxígeno muy buenas y son sensibles a carga orgánica. La orden

díptera también obtuvo una representatividad importante, de las tres familias registradas la más abundante fue Chironomidae, caracterizada por ser muy tolerante a la contaminación por materia orgánica y es propia de zonas con condiciones ecológicas desmejoradas (Roldán y Ramírez, 2008), entre tanto las familias Simuliidae y Tipulidae si bien toleran contaminación por materia orgánica son más sensibles que Chironomida, principalmente Simuliidae. Si bien el orden Coleoptera fue el más representativo en riqueza, la familia Hydropsychidae del orden Trichoptera obtuvo las contribuciones más importantes en densidad, indicadora de aguas contaminadas a ligeramente contaminadas. Según Roldan (1988), Hydropsychidae viven en aguas con poca a moderada contaminación y su distribución está influenciada por rangos altitudinales que afectan directamente la temperatura y la solubilidad de oxígeno disuelto, además se registraron miembros de Helicopsychidae de aguas limpias. Por su parte el orden Ephemeroptera registró representantes de la familia Leptophlebiidae con puntajes altos e indicadores de buena calidad, el orden Odonata junto con Architaenioglossa fueron los de menor riqueza registrando una sola familia cada uno, de aguas ligeramente contaminadas.

Grafica N° 8. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados bentónicos en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los valores de los índices ecológicos obtenidos sugieren que la comunidad de macroinvertebrados registrada en el punto de muestreo "Puente El Tambo" presenta una diversidad baja ya que el índice de Shannon-Weaver arrojó valores inferiores a dos (2), la equitatividad fue media, esto es por la baja prevalencia de la familia Hydropsychidae en este punto en contraste con las abundancias de familias restantes que fueron bajas, por su parte el índice de dominancia de Simpson presentó valores congruentes con los de equitatividad, en cuanto al índice de Margalef obtuvo valores indicadores de diversidad alta, los cuales según Margalef (1995) se corresponden con sistemas diversos (Tabla N° 38).

Tabla N° 38. Índices ecológicos obtenidos del ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos registrado en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

INDICE	RIQUEZA	ABUNDANCIA	DOMINANCIA	SHANNON-WEAVER	MARGALEF	EQUITATIVIDAD
	15	391,1	0,2852	1,727	2	0,6379

Fuente: Laboratorios Nancy Flórez García, 2019.

El índice BMWP/Col registró un valor de 79 que corresponde al rango 61-100 de aguas de clase II de calidad aceptable con evidentes efectos de contaminación (Tabla N° 39), cabe resaltar que los macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores de calidad de agua, permite estimar si han sido afectados por cambios físicos o químicos de su hábitat, pero no indica directamente cual es la causa específica que los afecta (Bis et al., 2000).

El bajo puntaje de este índice pese a la riqueza considerable de familias se explica por los bajos puntajes de la mayoría de las mismas puesto que solo unas pocas presentaron puntajes altos relacionados con ambientes limpios y de buena calidad. De acuerdo con García y Rosas (2010), la baja prevalencia de grupos de macroinvertebrados que sirven como indicadores de contaminación evidencian cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo, relacionados con el impacto de la actividad antropogénica.

Tabla N° 39. Puntaje del índice BMWP/Col obtenido de las familias de macroinvertebrados bentónicos registradas en el puente El Tambo, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

FAMILIA	PUNTAJE BMWP/COL
Elmidae	6
Hydrophilidae	3
Ptilodactylidae	10
Dytiscidae	9
Chironomidae	2
Tipulidae	3
Simuliidae	8
Leptophlebiidae	9
Tricorythidae	-
Calopterygidae	7
Hydropsychidae	5
Helicopsychidae	8
Ampullaridae	9
TOTAL	79

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

2.5.4.1.1 CONCLUSIONES

Las densidades perifíticas fueron moderadas, la división Bacillariophyta fue la de mayor riqueza específica, patrón presentado en ambientes loticos característico de aguas eutrofizadas, algunas especies de los géneros *Navicula* y *Nitzschia* dentro del grupo de las Bacillariophyceae confirman esta posición. Los índices ecológicos sugieren que la matriz perifítica presenta una diversidad baja y dominada por las morfoespecies *Navicula* sp, *Gyrosigma* sp y *Caloneis* sp. En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos se observaron densidades considerables aunque el índice de Shannon indicó una diversidad baja, en cuanto al índice de BMWP/Col, de acuerdo al puntaje obtenido el punto de muestreo “puente El Tambo” presenta aguas de calidad aceptable con evidentes efectos de contaminación, aunque esta clasificación debe realizarse con mesura puesto que en ensamble de macroinvertebrados debería asociarse con información del hábitat físico (substrato de fondo, velocidad de la corriente, profundidad). Se registró un número de familias bastante considerable, sin embargo la mayoría de sus puntajes fueron bajos, lo que puede estar evidenciando cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo, relacionados con el impacto de la actividad antropogénica, de hecho la familia Hydropsychidae obtuvo abundancias importantes, la cual tiende a habitar aguas contaminadas a ligeramente contaminadas.

2.5.4.2 Resultados E2 Cancha La Tricolor

➤ Perifiton

El ensamblaje perifítico registrado en el punto de muestreo “Cancha Tricolor” estuvo conformado por 10 morfoespecies vinculadas a una sola división, dos (2) clases, cuatro (4) órdenes y cinco (5) familias (Tabla N° 40), Bacillariophyta representa una de las divisiones algales con mayor distribución en el Neotrópico, presenta características fisiológicas diversas y algunas de sus representantes, especialmente las formas pennadas que constituyen la mayoría de los géneros encontrados, poseen nutrición heterotrófica facultativa y pueden sobrevivir en ambientes con baja luminosidad (Hellebust y Lewin, 1977). En general, todas las formas pennadas suelen crecer en aguas poco profundas y muestran los géneros más frecuentes y las mayores abundancias relativas en el área de estudio.

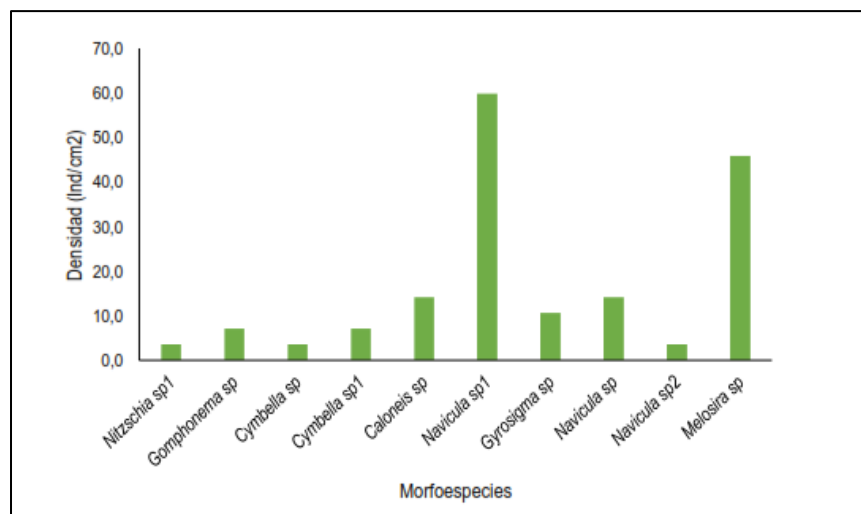
Tabla N° 40. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	CANCHA TRICOLOR
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp1</i>	3,5
		Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp</i>	7,0
			Cymbellaceae	<i>Cymbella sp</i>	3,5
				<i>Cymbella sp1</i>	7,0
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis sp</i>	14,1
				<i>Navicula sp1</i>	59,8
				<i>Gyrosigma sp</i>	10,6
				<i>Navicula sp</i>	14,1
				<i>Navicula sp2</i>	3,5
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiracea	<i>Melosira sp</i>	45,8
Total (Ind/cm²)					169,0

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

Las diatomeas han sido consideradas a nivel general como colonizadoras rápidas y eficientes, al ser capaces de ocupar sustratos en un corto lapso de tiempo, el cual puede variar desde un día hasta varias semanas (Rodrigues et al., 2003). Las morfoespecies más abundantes fueron *Navicula sp1* y *Melosira sp* con densidades de 59,8 Ind/cm² y 45,8 Ind/cm² respectivamente mientras que las menos representativas fueron *Nitzschia sp1*, *Cymbella sp* y *Navicula sp2* con densidades iguales a 3,5 Ind/cm² (Figura 3). El género *Navicula* ha sido relacionado por autores como Donato (1987) con turbulencia, sedimentos y conductividades altos, además crece en ambientes oscuros y carentes de CO₂, debido a que posee ciertas sustancias de alto valor energético o fácilmente digeribles (Ramírez, 2000). Por su parte, *Melosira* se asocia con procesos de sucesión, turbulencia y eutrofia (Duque y Donato, 1988). En general, la densidad total obtenida fue baja y correspondiente con sistemas oligotróficos, de acuerdo con McIntyre (1973), bajas biomásas perifíticas en pequeñas corrientes son parcialmente el resultado del efecto de la reducción de la luz por una densa cobertura vegetal terrestre. No obstante, se debe tener en cuenta que no sólo la luz facilita el crecimiento algal, sino la interacción de otros factores como la disponibilidad de nutrientes, el tipo de sustrato, la presión competitiva y la herbivoría que afectan el crecimiento del fitoperifiton (Ramírez, 2000), además de la velocidad de la corriente que es una de los factores más importantes para la adhesión algal (Lindstrom, 1983) ya que la acción mecánica y la turbulencia del agua contribuye a la separación de los organismos del perifiton (Montoya y Aguirre, 2013).

Grafica N° 9. Densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los valores de los índices ecológicos sugieren que el ensamblaje perifítico en el punto de muestreo “cancha tricolor” presenta una diversidad baja, pues se obtuvieron valores de Shannon-Weaver inferiores a dos ; la equitatividad fue alta y cercana a la unidad lo que es de esperarse en las comunidades biológicas con la finalidad de reducir interacciones como la competencia; el índice de Simpson presentó valores bajos indicando que no hay prevalencia de morfoespecies; por su parte el índice de Margalef indicó que los niveles de diversidad son bajos, dado que según Margalef (1995) valores inferiores a 2,0 son relacionados con zonas de baja diversidad (Tabla N° 41).

Tabla N° 41. Índices ecológicos obtenidos para el ensamblaje perifítico registrado en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

INDICE	RIQUEZA	DENSIDAD	DOMINANCIA	SHANNON-WEAVER	MARGALEF	EQUITATIVIDAD
	10	169	0.2215	1.815	1.763	0.7881

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

➤ Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos del punto de muestreo “Cancha tricolor” en el río Chiriaimo estuvo constituida por 13 familias distribuidas en tres (3) divisiones, tres (3) clases y nueve (9) órdenes (Tabla N° 42), la división Arthropoda

obtuvo la mayor proporción de familias, seguida de Mollusca con dos (2) familias y Annelida con una. De Arthropoda los insectos de los órdenes Trichoptera, Odonata, Coleóptera y Hemiptera obtuvieron la mayor representatividad específica (15%) mientras que los órdenes restantes obtuvieron la proporción restante en cantidades iguales (Tabla N° 42)

Tabla N° 42. Clasificación taxonómica y densidad de los macroinvertebrados bentónicos registrados en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	CANCHA TRICOLOR
Annelida	Clitellata	Tubificida	Tubificidae		2,2
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae (Larva)		15,6
			Hydrophilidae		2,2
		Diptera	Chironomidae		2,2
		Ephemeroptera	Tricorythidae		2,2
		Hemiptera	Naucoridae		2,2
			Veliidae		2,2

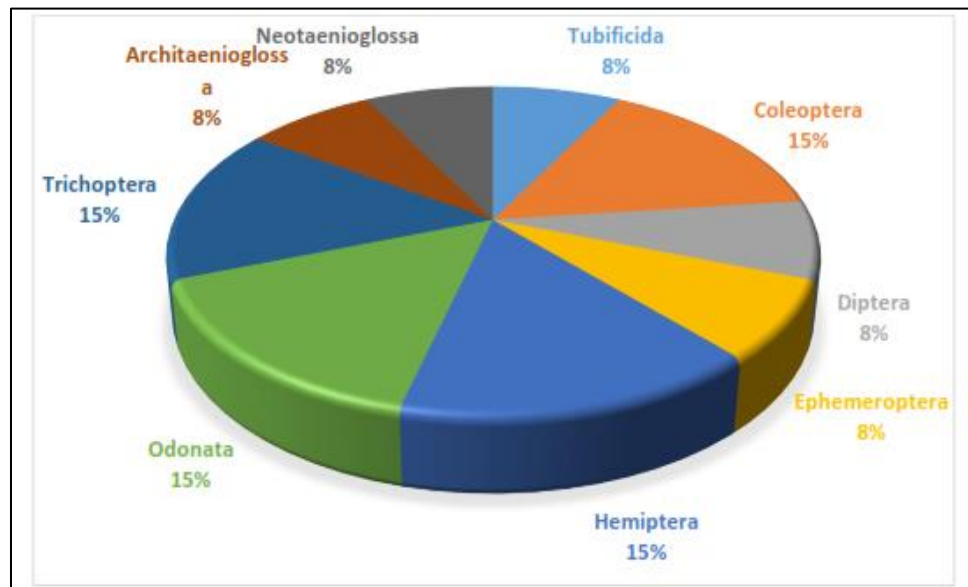
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	CANCHA TRICOLOR
		Odonata	Calopterygidae		2,2
			Libellulidae morfo 2		2,2
		Trichoptera	Hydropsychidae		2,2
			Leptoceridae		13,3
Mollusca	Gastropoda	Architaenioglossa	Ampullaridae	<i>Pomacea sp</i>	2,2
		Neotaenioglossa	Thiaridae		2,2
Total (Ind/m²)					53,3

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

Las familias más abundantes fueron Elmidae (Coleoptera) y Leptoceridae (Trichoptera) con densidades de 15,76 Ind/m² y 13,3 Ind/m² respectivamente, mientras que las familias restantes obtuvieron densidades iguales a 2,2 Ind/m². En general los tricópteros son insectos que tienen como característica la capacidad de construir casas y refugios que sirven para capturar alimentos y sus casas sirven para su protección y movimiento en busca de oxígeno. Estos son insectos holometábolos cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat (léntico y lótico). La mayoría requieren de uno a dos años para su desarrollo. En general viven en aguas limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal (Pérez, 1988), concretamente Leptoceridae indica aguas limpias a medianamente contaminadas (Mora y Soler, 1993). Por su parte los coleópteros viven en aguas continentales loticas y lenticas y se encuentra principalmente en aguas con concentración de oxígeno alto y temperaturas medias, particularmente la familia Elmidae se asocia con aguas limpias (Machado y Roldán, 1981). Se identificaron individuos de Tubificida indicadores de aguas polisabrópicas, medianamente contaminadas y con aporte de sedimentos alóctonos (Márquez y Guillot, 1988), también miembros de

Gastropoda asociados con aguas ricas en carbonatos de calcio y con carga orgánica (Roldán, 1988).

Grafica N° 10. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados bentónicos registrados en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaoimo, Cesar, Colombia.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los valores de los índices ecológicos sugieren que la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en el punto de muestreo “cancha tricolor” presenta una diversidad moderada, pues se obtuvieron valores de Shannon-Weaver superiores a dos ; la equitatividad fue alta y cercana a la unidad pues las abundancias de la mayoría de las familias registradas fueron iguales a excepción de las obtenidas para Elmidae y Leptoceridae; el índice de Simpson presentó valores bajos indicando que no hay prevalencia de morfoespecies; por su parte el índice de Margalef indicó que los niveles de diversidad son importantes, dado que según Margalef (1995) valores inferiores a 2,0 son relacionados con zonas de baja diversidad, sin embargo estos valores pueden encontrarse sesgados por la baja riqueza registrada.

Según González (2012) se puede hacer una aproximación del estado de las aguas con el valor del índice de Shannon: valores superiores a tres implicarían aguas limpias; valores entre uno y tres, aguas más o menos contaminadas, y valores inferiores a uno, aguas muy contaminadas, así que teniendo en cuenta esto, este tramo del río presenta aguas más o menos contaminadas.

Tabla N° 43. Índices ecológicos obtenidos para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrada en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaimo, Cesar, Colombia

INDICE	RIQUEZA	DENSIDAD	DOMINANCIA	SHANNON-WEAVER	MARGALEF	EQUITATIVIDAD
	13	53,3	0,1679	2,158	3	0,8412

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

El puntaje para las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en el punto “Cancha tricolor”, sus aguas se encuentran catalogados como clase II (rango = 61-100), de calidad aceptable, dado el puntaje BMWP/Col de 68 (Tabla N° 44) y esto se debe a que la mayoría de estos organismos registrados son indicadores de aguas con algún grado de contaminación y con condiciones eutróficas, lo que refleja una inadecuada gestión en los vertimientos de aguas residuales domésticas sobre la cuenca.

Resulta importante aclarar que si bien los macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores de calidad de agua, permite estimar si han sido afectados por cambios físicos o químicos de su hábitat, pero no indica directamente cual es la causa específica que los afecta (Bis et al., 2000).

Tabla N° 44. Puntajes del índice BMWP/Col obtenidos para las familias de macroinvertebrados bentónicos registradas en el punto de muestreo “Cancha Tricolor”, río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

FAMILIA	PUNTAJE BMWP/COL
Tubificidae	1
Elmidae	6
Hydrophilidae	3
Chironomidae	2
Tricorythidae	-
Naucoridae	7
Veliidae	8
Calopterygidae	7
Libellulidae	7
Hydropsychidae	5
Leptoceridae	8
Ampullaridae	9
Thiaridae	5
TOTAL	68

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

2.5.4.2.1 CONCLUSIONES

Las densidades perifíticas fueron bajas y correspondientes con sistemas oligo-mesotróficos, la división Bacillariophyta fue la de mayor dominancia, patrón presentado en ambientes lóticos característico de aguas eutrofizadas, las morfoespecies más abundantes fueron *Navicula* sp1 y *Melosira* sp relacionadas con sedimentos, turbulencia y conductividad altos. Los índices ecológicos sugieren que la matriz perifítica presenta una diversidad baja y dominada por morfoespecies de diatomeas.

Para la comunidad macroinvertebrados bentónicos se observaron densidades bajas aunque el índice de Shannon indicó una diversidad relativamente alta, pues si bien el número de especies fue importantes las densidades más importantes estuvieron restringidas solo a dos familias, en cuanto al índice de BMWP/Col, de acuerdo al puntaje obtenido el punto de muestreo “Cancha tricolor” presenta aguas de calidad aceptable con evidentes efectos de contaminación, aunque esta clasificación debe realizarse con mesura puesto que en ensamble de macroinvertebrados debería asociarse con información del hábitat físico (substrato de fondo, velocidad de la corriente, profundidad). Se registró un número de familias bastante considerable, sin embargo la mayoría de sus puntajes fueron bajos, lo que puede estar evidenciando cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo. El bajo puntaje de este índice pese a la riqueza considerable de familias se explica por los bajos puntajes de la mayoría de las mismas puesto que solo unas pocas presentaron puntajes altos relacionados con ambientes limpios y de buena calidad. La baja prevalencia de grupos de macroinvertebrados que sirven como indicadores de contaminación evidencian cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo, relacionados con el impacto de la actividad antropogénica.

2.5.4.3 Resultados E3 Puente La Vega

➤ Perifiton

La distribución de las algas perifíticas es altamente dependiente de las características del sustrato y de la dinámica física del entorno (Stevenson et al., 1996). En consecuencia, la geología, la topografía y los usos del suelo en las áreas de influencia directa de los cuerpos de agua son factores relevantes a gran escala en la ecología de estos organismos (Potapova y Donald, 2002; Stevenson, 1997). El ensamblaje perifítico registrado en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriaimo estuvo conformado por nueve (9) morfoespecies vinculadas a una (1) división, dos (2) clases, cinco (5) órdenes e igual número de familias (Tabla N° 45). Una de las principales características del ensamblaje perifítico es el predominio de las diatomeas (Bacillariophyta); pues la mayoría de los sustratos tiende a favorecerlas (Planas, 1998), han sido consideradas a nivel general como colonizadoras rápidas y eficientes, al ser capaces de ocupar sustratos en un corto

lapso de tiempo, el cual puede variar desde un día hasta varias semanas (Rodríguez et al., 2003), lo que explica su prevalencia en el tramo estudiado del río Chiriaimo.

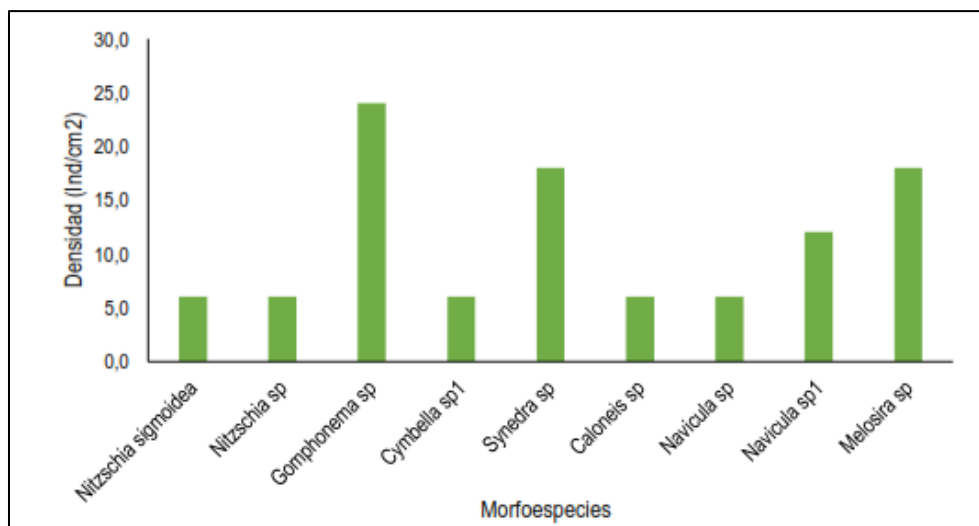
Tabla N° 45. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	PUENTE LA VEGA
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	6,0
				<i>Nitzschia sp</i>	6,0
		Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp</i>	24,0
			Cymbellaceae	<i>Cymbella sp1</i>	6,0
		Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra sp</i>	18,0
				<i>Caloneis sp</i>	6,0
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp</i>	6,0
				<i>Navicula sp1</i>	12,0
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira sp</i>	18,0
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	PUENTE LA VEGA
Total (Ind/cm ²)					102,0

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

Las morfoespecies más abundantes fueron *Gomphonema sp*, *Synedra sp* y *Melosira sp* con densidades de 24,0 Ind/cm², 18,0 Ind/cm² y 18,0 Ind/cm² respectivamente, relacionadas con sedimentos y conductividad altos (Duque y Donato, 1992); las morfoespecies restantes obtuvieron densidades iguales a 6,0 Ind/cm² a excepción de *Navicula sp1* que registró una densidad de 12,0 Ind/cm² (Grafica N° 11). En general, la densidad total registrada en este punto de monitoreo fue baja y correspondiente con sistemas oligotróficos. Entre las variables ambientales que pueden estar condicionando la composición del perifiton en este punto del río Chiriaimo se encuentran la velocidad y turbulencia del agua debido a que condicionan la biodisponibilidad de los nutrientes e influyen en la capacidad de adhesión de las algas al sustrato, afectando la productividad y la arquitectura de la comunidad (Wetzel, 1983) pues una reducción considerable del caudal puede conducir a la exposición temporal de los sustratos al aire y consecuentemente a la desaparición de las colonias algales, aunado a esto encontramos la disponibilidad de luz y la posible estabilidad del sustrato (Stevenson et al., 1996).

Grafica N° 11. Densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriaimo, Cesar, Colombia.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los valores de los índices ecológicos sugieren que el ensamblaje perifítico en el punto de muestreo “Puente La Vega” presenta una diversidad moderada, pues se obtuvieron valores de Shannon-Weaver superiores a dos ; la equitatividad fue alta y cercana a la unidad lo que es de esperarse en las comunidades biológicas con la finalidad de reducir interacciones como la competencia; el índice de Simpson presentó valores bajos indicando que no hay prevalencia de morfoespecies; por su parte el índice de Margalef indicó que los niveles de diversidad son bajos, dado que según Margalef (1995) valores inferiores a 2,0 son relacionados con zonas de baja diversidad Tabla N° 46)

Tabla N° 46. Índices ecológicos obtenidos del ensamblaje perifítico registrado en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriaimo, Cesar, Colombia.

INDICE	RIQUEZA	DENSIDAD	DOMINANCIA	SHANNON-WEAVER	MARGALEF	EQUITATIVIDAD
	9	102	0.1488	2.038	1.73	0.9274

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrada en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriaimo estuvo constituida por siete (7) familias vinculadas a una (1) división, una (1) clase y cinco (5) órdenes (Tabla N° 47), de éstos los más representativos fueron Trichoptera y Ephemeroptera ya que obtuvieron la mayor proporción de la riqueza total registrada (29%); los órdenes restantes obtuvieron el 42% restante en proporciones iguales Tabla N° 47).

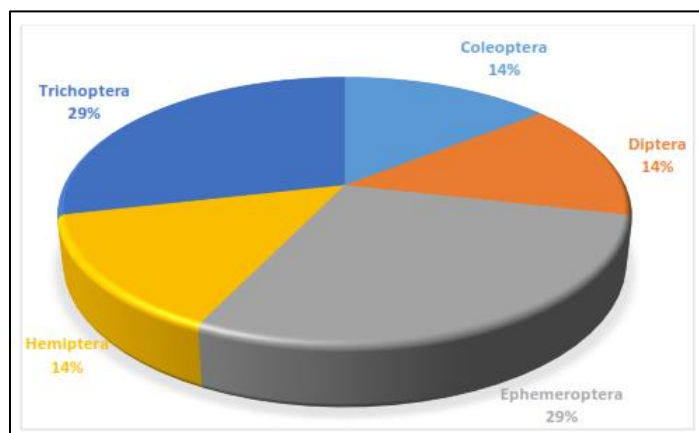
Tabla N° 47. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos registradas en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	PUENTE LA VEGA
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	13,3
		Diptera	Chironomidae	6,7
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	2,2
			Tricorythidae	4,4
		Hemiptera	Veliidae	2,2
		Trichoptera	Hydropsychidae	13,3
			Leptoceridae	4,4
Total (Ind/m²)				46,7

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

El orden Trichoptera lo conforman insectos que tienen como característica la capacidad de construir casas y refugios, los cuales sirven para capturar alimentos, protección y movimiento en busca de oxígeno, son holometábolos cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat (léntico y lótico). La mayoría de los tricópteros requieren de uno a dos años para su desarrollo, en general viven en aguas limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal (Pérez, 1988). En particular Hydropsychidae vive en aguas contaminadas a ligeramente contaminadas (Roldán y Ramírez, 2008) mientras que Leptoceridae habita aguas más limpias. Por su parte los insectos del orden Ephemeroptera se distinguen por vivir en aguas con baja carga orgánica (Roldán y Ramírez, 2008). Las familias más abundantes fueron Elmidae (Coleoptera) e Hydropsychidae (Trichoptera) con densidades iguales a 13,3Ind/m2, las familias restantes obtuvieron densidades pequeñas.

Grafica N° 12. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados bentónicos registrados en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.



Fuente: PORH Río Chiriamo 2019

Los valores de los índices ecológicos sugieren que la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en el punto de muestreo “Puente La Vega” presenta una diversidad baja, pues se obtuvieron valores de Shannon-Weaver inferiores a dos 2; la equitatividad fue alta y cercana a la unidad pues las abundancias de la mayoría de las familias registradas fueron iguales a excepción de las obtenidas para Elmidae e Hydropsychidae; el índice de Simpson presentó valores bajos indicando que no hay prevalencia de morfoespecies; por su parte el índice de Margalef indicó que los niveles de diversidad son bajos, dado que según Margalef (1995) valores inferiores a 2,0 son relacionados con zonas de baja diversidad (Tabla N° 48).

Tabla N° 48. Índices ecológicos obtenidos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.

INDICE	RIQUEZA	DENSIDAD	DOMINANCIA	SHANNON-WEAVER	MARGALEF	EQUITATIVIDAD
	7	46,7	0,2068	1,73	1,586	0,8891

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

Según el valor del índice BMWP/Col, el tramo estudiado del río Chiriamo presenta aguas clase III, de calidad dudosa y contaminadas correspondientes al rango (36-60), dado el puntaje obtenido de 38 (Tabla N° 49) esto es por la baja diversidad de familias encontradas que no contribuyen a un incremento del índice, además la mayor parte de las familias registradas tuvieron puntajes bajos a excepción de Leptophlebiidae, Veliidae y Leptoceridae de aguas corrientes, oxigenadas y limpias (Pinilla, 2000).

Tabla N° 49. Puntajes del índice BMWP/Col obtenidos para las familias de macroinvertebrados bentónicos en el punto de muestreo “Puente La Vega” en el río Chiriamo, Cesar, Colombia.

FAMILIA	PUNTAJE BMWP/COL
Elmidae	6
Chironomidae	2
Leptophlebiidae	9
Tricorythidae	-
Veliidae	8
Hydropsychidae	5
Leptoceridae	8
TOTAL	38

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

2.5.4.3.1 CONCLUSIONES

Las densidades de la comunidad perifítica fueron bajas y correspondientes con sistemas oligotróficos, la división Bacillariophyta fue la de mayor dominancia, las morfoespecies más abundantes fueron Gomphonema sp, Synedra sp y Melosira sp relacionadas con mesotrófica, sedimentos, turbulencia y conductividad altos. Los índices ecológicos sugieren que la matriz perifítica presenta una diversidad baja y dominada por morfoespecies de diatomeas.

Para la comunidad macroinvertebrados bentónicos se observaron densidades bajas y dominadas por las familias Elmidae e Hydropsychidae, en cuanto al índice de BMWP/Col, de acuerdo al puntaje obtenido el punto de muestreo “Puente La Vega” presenta aguas de calidad dudosa y contaminadas, aunque esta clasificación debe realizarse con mesura puesto que en ensamble de macroinvertebrados debería asociarse con información del hábitat físico (sustrato de fondo, velocidad de la corriente, profundidad). Se registró un número de familias bastante reducido y la mayoría de ellas con puntajes bajos, lo que se puede relacionar con cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo. La baja prevalencia de grupos de macroinvertebrados que sirven como indicadores de contaminación evidencian cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo, relacionados con el impacto de la actividad antropogénica.

2.5.4.4 Resultados E4 La Parrilla

➤ Perifiton

La comunidad de algas perifíticas estuvo conformado por cinco (5) morfo especies del phylum Bacillariophyta, (Tabla N° 50), la cuales registraron una densidad de 75,0 Ind/cm² y una riqueza total del 100% (Grafica N° 12 Grafica N° 13).

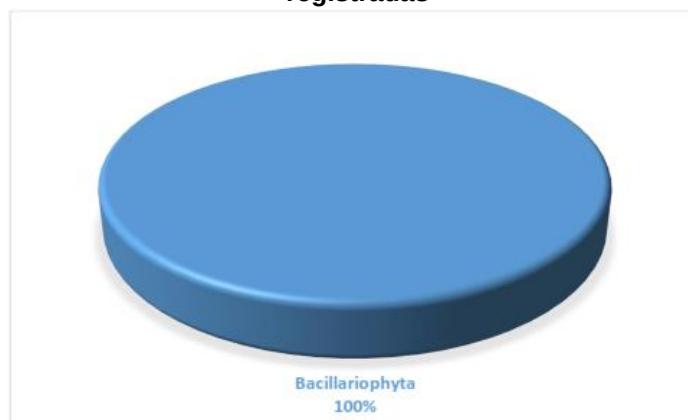
Una de las principales características del ensamblaje perifítico es la presencia de las diatomeas tanto en sustratos naturales como artificiales, varios autores consideran que la mayoría de los sustratos tiende a favorecer el desarrollo de las diatomeas (Planas, 1998). Las diatomeas han sido consideradas a nivel general como colonizadoras rápidas y eficientes, al ser capaces de ocupar sustratos en un corto lapso de tiempo, el cual puede variar desde un día hasta varias semanas. La mayor parte de sus representantes presentan estructuras especializadas de fijación al sustrato, como pedúnculos mucilaginosos largos y cortos, producción de matrices mucilaginosas y colonias en forma de estrella o ramo fijadas por la base. Sus diminutos tamaños permiten que sus representantes tengan rápida fijación en superficies menores, no accesibles a competidores mayores (Rodríguez et al., 2003). Por estas razones, las poblaciones de diatomeas son favorecidas en sistemas hídricos con velocidades de corriente altas (Horner et al., 1990).

Tabla N° 50. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	FINCA LA PARRILLA
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>	5,0
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i> sp	50,0
				<i>Navicula</i> sp	5,0
				<i>Navicula</i> sp1	10,0
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiracea	<i>Melosira</i> sp	5,0
Total (Ind/cm²)					75,0

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Grafica N° 13. Representatividad específica de los phylum de la comunidad perifítica registradas



Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Con respecto a los índices ecológicos, los resultados obtenidos por los índices de Pielou y Simpson, determinaron que la comunidad perifítica, se compone de poblaciones medianamente homogéneas, sustentando niveles medios de uniformidad ($J=0,6714$) y dominio ($D=0,4756$), infiriendo que los diferentes factores que actúan sobre el cuerpo de agua pueden estar favoreciendo o limitando el crecimiento de alguna de las especies. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, se encontró un valor de 1,081 bits/individuo, que sugieren diversidad baja. Con respecto a los valores obtenidos para la riqueza específica descrita por el índice de Margalef, se tiene el punto de monitoreo, presenta valores bajo de riqueza de especies (Tabla N° 51).

Tabla N° 51. Índices de diversidad aplicados a perifiton.

ÍNDICES	FINCA LA PARRILLA
RIQUEZA	5
DENSIDAD	75
DOMINANCIA	0,4756
SHANNON-WEAVER	1,081
MARGALEF	0,9265
EQUITATIVIDAD	0,6714

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019.

➤ Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados bentónicos constituyen parte del componente biológico cumpliendo un rol de gran importancia en la estructura y funcionamiento de los cuerpos de agua. Su composición específica y abundancia depende de la cantidad de materia orgánica presente, la que está relacionada con la productividad (Brinkhurst, 1974; Valdovinos & Figueroa, 2000). El cambio en las características del sustrato por la sedimentación de la materia orgánica y la disminución de oxígeno disuelto, comienza a ser evidente a medida que el enriquecimiento orgánico es mayor, reduciendo las comunidades características de aguas limpias y provocando la desaparición de taxa intolerantes, provocando que se modifique la estructura de dominancia de la comunidad (Johnson et al., 1993; Rosenberg & Resh, 1993). En general, disminuyendo la diversidad y la eficiencia de purificación debido al enriquecimiento orgánico excesivo (Cummins, 1992).

La comunidad de macroinvertebrados estuvo conformada por especies del phylum Annelida y Arthropoda con una densidad de 46,7 Ind/m² (Tabla N° 52). En cuando a la abundancia se registraron 10 morfoespecies, de las cuales conjuntamente el 40% corresponde a los órdenes Coleoptera y Trichoptera, mientras que los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Hemiptera, Odonata, Plecoptera y Tubificida, registran cada uno un 10% (Tabla N° 52).

Tabla N° 52: Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados registradas.

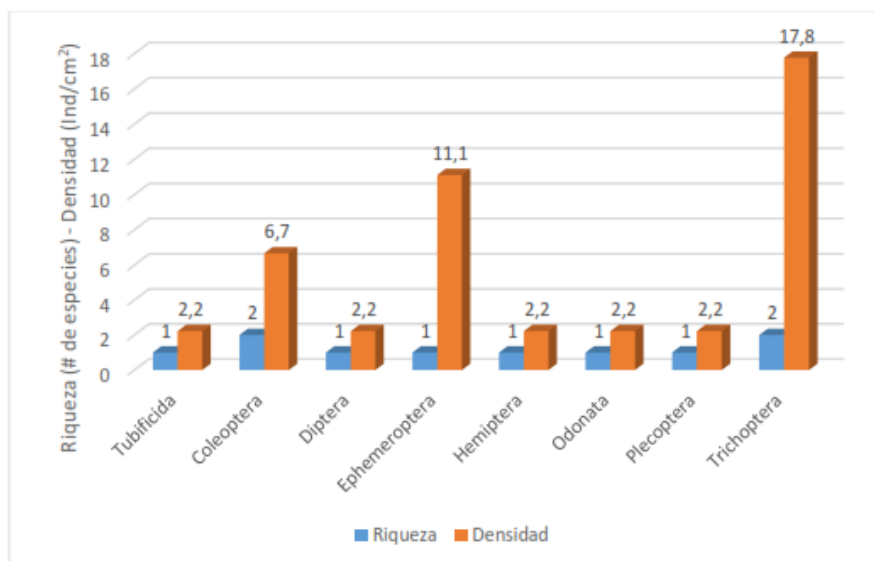
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	FINCA LA PARRILLA
Annelida	Clitellata	Tubificida	Tubificidae		2,2
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmidae (Adulto)	2,2
				Elmidae (Larva)	4,4
		Diptera	Chironomidae		2,2
		Ephemeroptera	Tricorythidae		11,1
		Hemiptera	Naucoridae		2,2
		Odonata	Gomphidae		2,2
		Plecoptera	Perlidae		2,2
		Trichoptera	Hydropsychidae		15,6
			Leptoceridae		2,2
Total (Ind/m²)					46,7

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

En términos de densidad la clase insecta, registró una densidad de 44,4 Ind/m², y una riqueza de 9 morfoespecies, las cuales fueron identificadas como miembros de los órdenes Coleoptera (Elmidae), Diptera (Chironomidae), Ephemeroptera (Tricorythidae), Hemiptera (Naucoridae), Odonada (Gomphidae), Plecoptera (Perlidae) y Trichoptera (Hydropsychidae y Leptoceridae), siendo este último el de mayor densidad (17,8 Ind/m²) (Grafica N° 14) Los individuos de este grupo viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal; algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. Son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Vergara, 2009). En general aguas torrentosas, limpias, oxigenadas con materia orgánica (Pinilla, 2000).

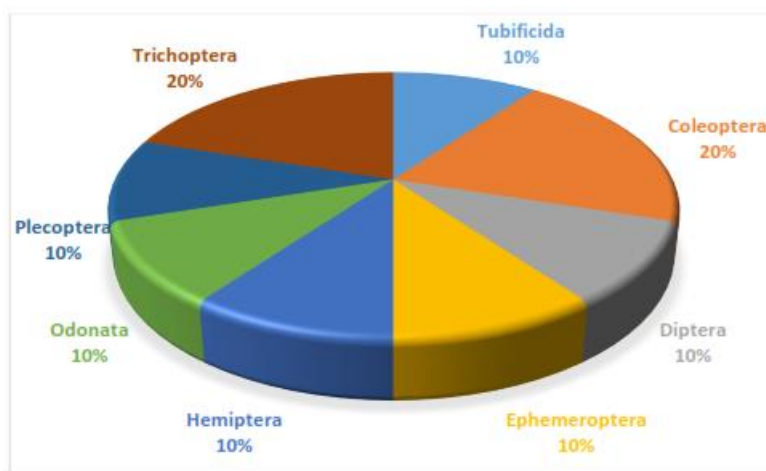
Finalmente el phylum Annelida (Tubificidae), tuvo una densidad de 2,2 Ind/m², lo que represento el 10% de toda la comunidad. Se caracterizan por su cuerpo aplanado y por una ventosa que rodea la boca y otra posterior, las cuales utiliza para fijarse fuertemente al sustrato. Algunas se alimentan de residuos orgánicos, pero la mayoría son carnívoras alimentándose de pequeños invertebrados. Viven por lo general en aguas quietas o de poco movimiento sobre trocos, plantas rocas y residuos vegetales, puede tolerar bajas concentraciones de oxígeno. Debido a esto es frecuente encontrarlas en lugares donde hay abundante materia en descomposición (Roldan 1996). Son característicos de aguas contaminadas por materia orgánica y de poco movimiento. (Roldan, 2003).

Grafica N° 14. Densidad y riqueza de la comunidad de macroinvertebrados



Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Grafica N° 15. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados registrados



Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Con respecto a los índices ecológicos, los resultados obtenidos por los índices de Pielou y Simpson, determinaron que la comunidad de macroinvertebrados, se compone de poblaciones homogéneas, sustentando niveles medios de uniformidad ($J=0,8452$) y bajo dominio ($D=0,1929$), infiriendo que los diferentes factores que actúan sobre el cuerpo de agua no se encuentran favoreciendo o limitando el

crecimiento de alguna de las especies. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, se encontró un valor de 1,946 bits/individuo, que sugieren diversidad baja. Con respecto a los valores obtenidos para la riqueza específica descrita por el índice de Margalef, se tiene el punto de monitoreo, presenta valores medios de riqueza de especies (Tabla N° 53).

Tabla N° 53. Índices de diversidad aplicados a macroinvertebrados.

ÍNDICES	FINCA LA PARRILLA
RIQUEZA	10
DENSIDAD	47
DOMINANCIA	0,1929
SHANNON-WEAVER	1,946
MARGALEF	2,378
EQUITATIVIDAD	0,8452

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

consideran que los puntajes asignados para la calidad del agua deben ajustarse de acuerdo a las condiciones pertinentes en cada sistema como la altitud y tipo de sustrato de las corrientes de cada región, por lo que los resultados pueden ser consecuencia de las condiciones específicas del medio que no permiten una diversidad más alta de organismos. Por tal razón se procedió al cálculo del índice BMWP/Col., para el punto de muestreo registrando un valor de 51 (Tabla N° 54), los cuales corresponde para Aguas moderadamente contaminadas (Roldan y Ramírez, 2008).

Tabla N° 54. Puntajes BMWP/Col. para las familias de macroinvertebrados bentónicos registrados

FAMILIA	PUNTAJE BMWP/COL
Tubificidae	1
Elmidae	6
Chironomidae	2
Tricorythidae	-
Naucoridae	7
Gomphidae	10
Perlidae	10
Hydropsychidae	7
Leptoceridae	8
TOTAL	51

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

2.5.4.4.1 CONCLUSIONES

El ensamblaje perifítico se caracterizó por la presencia de diatomeas, grupo de microalgas que se desarrollan fácilmente por los altos rangos de tolerancia que poseen ante cambios ambientales como pH y contenido de nutrientes, siendo este último factor un determinante importante para su crecimiento ya que abundan en elevadas concentraciones de materia orgánica.

El ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos estuvo conformada por especies de los phylum Annelida y Arthropoda. Las clases identificadas son consideradas bioindicadores de cargas de materia orgánica, los cuales se encargan de acelerar el proceso de depuración del material orgánico presente, correspondiente a un estado de eutrofia, típico de ambientes con cierto grado de contaminación.

El estado ecológico de las comunidades evaluadas exhibe una tendencia de uniformidad entre la abundancia de sus poblaciones, condición debida al registro de valores de abundancia relativa similares entre las especies identificadas. No obstante, se evidenciaron comunidades limitadas en términos de riqueza y abundancia con valores de diversidad bajos a medios, revelando una contaminación moderada.

2.5.4.5 Resultados E5 La Estancia

➤ Perifiton

La comunidad de algas perifíticas estuvo conformado por los phylum Bacillariophyta y Chlorophyta, (Dentro de este ensamble ecológico también se destacó el phylum Chlorophyta o comúnmente conocidas como algas verdes; estos organismos se desarrollan en una variada gama de condiciones entre esos un amplio rango de salinidad, es el grupo más diversificado en las aguas dulces (Ramírez, 2000; Roldán y Ramírez, 2008). Se conocen unas 8000 especies, la mayoría cosmopolitas que prefieren aguas mesosaprobias (aguas de contaminación media por materia orgánica), viven en agua dulce incluso en bajas densidades; solo un 10% de las especies viven en el mar (Streble y Krauter, 1987). Oedogonium fue el único género reportado para este grupo; dicha microalga es muy común en aguas claras, relativamente puras, bajas en minerales y elevados contenidos de Fe (Whitford & Schumacher, 1973).

(

Grafica N° 16) con una densidad de 85,4 Ind/cm² (Tabla N° 55) En cuando a la abundancia se registraron 6 morfoespecies, de las cuales el 83% corresponde a las Bacillariophyta, y el 17% a Chlorophyta.

Tal como se mencionó anteriormente, la división Bacillariophyta (diatomeas) aportaron aproximadamente el 83% de la riqueza total, y una densidad de 77,6 Ind/cm²; las diatomeas son un grupo de algas propias de la comunidad perifítica, ya que tienen la habilidad de generar estructuras silíceas que les facilita la adhesión a cualquier tipo de sustrato (Ramírez y Viña, 1998), igualmente, son indicadoras de procesos de eutrofización, turbidez, alta de carga de materia orgánica, turbulencia y pH tendiente a la acidez (Pinilla, 2000), del mismo modo sirven de alimento para otros organismos como los macroinvertebrados bentónicos, asimismo, teniendo en cuenta las característica geomorfológicas del sistema su alta presencia es normal

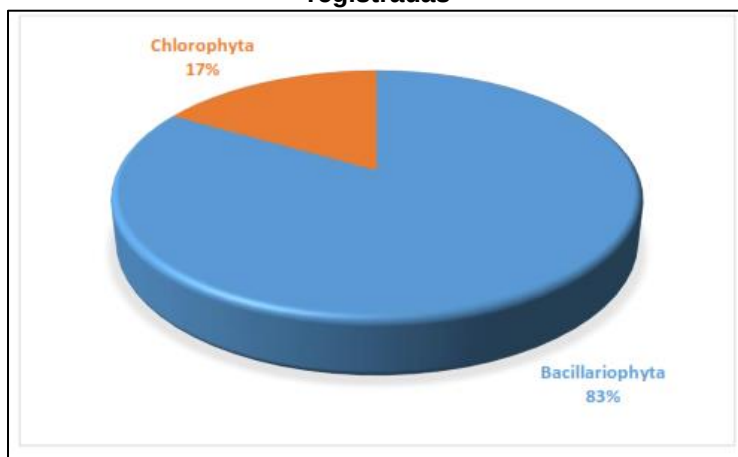
factores como el sustrato rocoso, la alta penetración lumínica y los nutrientes favorecen su establecimiento (Roldán y Ramírez, 2008) y por ello los resultados obtenidos en el análisis. La densidad más alta de este grupo taxonómico se reportó para el género *Cymbella* con 31,0 Ind/cm², característico de agua dulce, encontrándose en aguas corrientes o estancadas e indicando aguas con contaminación moderada a leve (Streble & Krauter, 1987).

Tabla N° 55. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	LA ESTANCIA
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	7,8
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i> sp1	31,0
			Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp	7,8
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i> sp	15,5
				<i>Navicula</i> sp1	15,5
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i> sp	7,8
Total (Ind/cm ²)					85,4

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Grafica N° 16. Representatividad específica de los phylum de la comunidad perifítica registradas

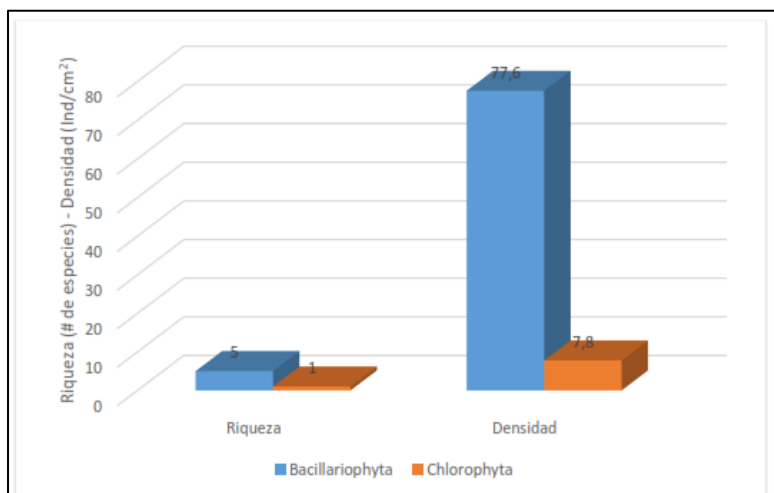


Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019.

Dentro de este ensamble ecológico también se destacó el phylum Chlorophyta o comúnmente conocidas como algas verdes; estos organismos se desarrollan en una variada gama de condiciones entre esos un amplio rango de salinidad, es el grupo más diversificado en las aguas dulces (Ramírez, 2000; Roldán y Ramírez, 2008). Se conocen unas 8000 especies, la mayoría cosmopolitas que prefieren aguas mesosaprobias (aguas de contaminación media por materia orgánica), viven en agua dulce incluso en bajas densidades; solo un 10% de las especies viven en el mar (Streble y Krauter, 1987). *Oedogonium* fue el único género reportado para

este grupo; dicha microalga es muy común en aguas claras, relativamente puras, bajas en minerales y elevados contenidos de Fe (Whitford & Schumacher, 1973).

Grafica N° 17. Densidad y riqueza de la comunidad perifítica



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Con respecto a los índices ecológicos, los resultados obtenidos por los índices de Pielou y Simpson, determinaron que la comunidad perifítica, se compone de poblaciones homogéneas, sustentando altos niveles de uniformidad ($J=0,917$) y bajo dominio ($D=0,2227$), infiriendo que los diferentes factores que actúan sobre el cuerpo de agua no se encuentran favoreciendo o limitando el crecimiento de alguna de las especies. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, se encontró un valor de 1,135 bits/individuo, que sugieren diversidad baja. Con respecto a los valores obtenidos para la riqueza específica descrita por el índice de Margalef, se tiene el punto de monitoreo, presenta valores bajo de riqueza de especies (Tabla N° 56).

Tabla N° 56. Índices de diversidad aplicados a perifiton.

ÍNDICES	LA ESTANCIA
RIQUEZA	6
DENSIDAD	85,36
DOMINANCIA	0,2227
SHANNON-WEAVER	1,643
MARGALEF	1,135
EQUITATIVIDAD	0,917

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

➤ Macroinvertebrados

La comunidad de macroinvertebrados estuvo conformada por especies del phylum Annelida, Arthropoda y Mollusca, con una densidad de 277,8 Ind/m² (Tabla N° 57). En cuando a la abundancia se registraron 16 morfoespecies, de las cuales el 18,8% corresponde al orden Odonata, mientras que los órdenes Coleoptera, Ephemeroptera, Hemiptera y Trichoptera registran el 12,5% cada uno, Tubificida, Diptera, Plecoptera, Decapoda y Architaenioglossa registran cada uno un 6,3% (Grafica N° 19).

Tabla N° 57. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados registradas.

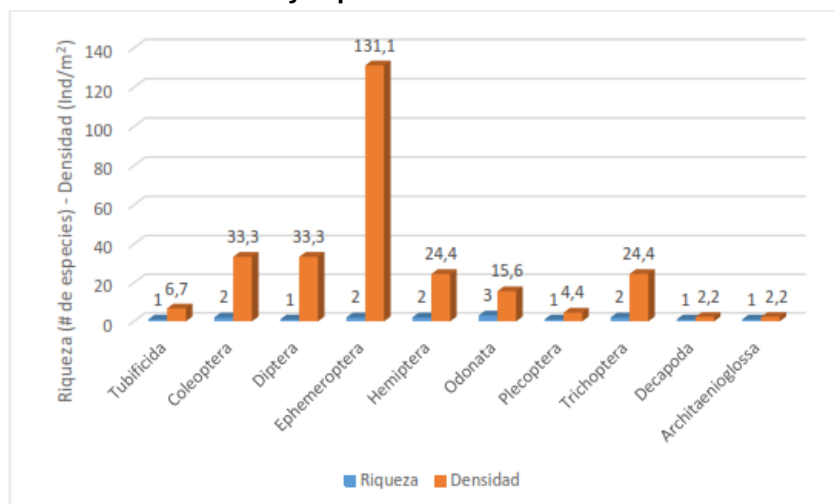
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	LA ESTANCIA
Annelida	Clitellata	Tubificida	Tubificidae		6,7
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmidae (Larva)	24,4
			Ptilodactylidae		8,9
		Diptera	Chironomidae		33,3
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae		13,3
			Tricorythidae		117,8
		Hemiptera	Naucoridae		11,1
			Veliidae		13,3
		Odonata	Calopterygidae		2,2
			Gomphidae		11,1
			Libellulidae	Libellulidae morfo 2	2,2
		Plecoptera	Perlidae		4,4
		Trichoptera	Hydropsychidae		2,2
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	LA ESTANCIA
			Leptoceridae		22,2
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae		2,2
Mollusca	Gastropoda	Architaenioglossa	Ampullaridae	Pomacea sp	2,2
Total (Ind/m ²)					277,8

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

En términos de densidad la clase insecta, registró una densidad de 266,7 Ind/m². Y una riqueza de 13 morfoespecies, las cuales fueron identificadas como miembros de los órdenes Coleoptera (Elmidae y Ptilodactylidae), Diptera (Chironomidae), Ephemeroptera (Leptophlebiidae y Tricorythidae), Hemiptera (Naucoridae y Veliidae), Trichoptera (Hydropsychidae y Leptoceridae), Plecoptera (Perlidae) y Odonata, siendo este último el más representativo al constituirse por una variedad de familias, entre las cuales se reportó Gomphidae, cuyas larvas viven por regla general en ambientes dulceacuícolas, que pueden ser lagos, lagunas, charcas, ríos arroyos y vertientes, se les considera indicadores de aguas limpias por lo tanto soportan niveles de contaminación bajos (Pinilla, 2000).

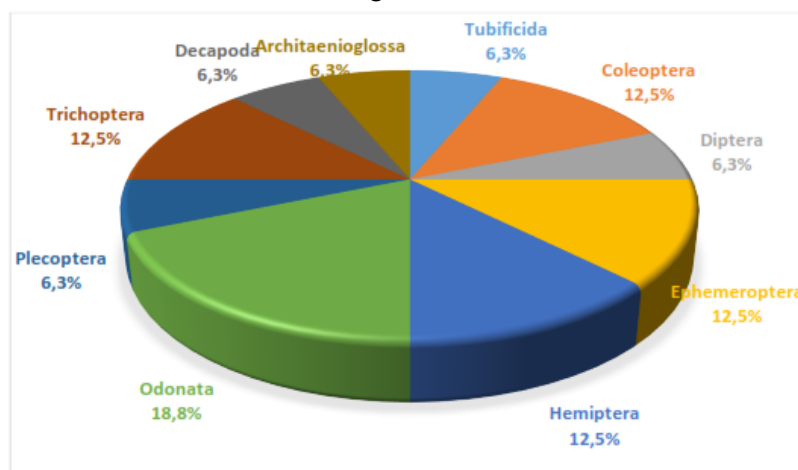
Otros organismos reportados son los pertenecientes al orden Coleoptera con una densidad de 33,3 Ind/m²; la mayoría de los organismos de este grupo son acuáticos, viven en aguas continentales loticas y lenticas. En ecosistemas loticos viven en aguas con sustratos con gran cantidad de troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y vegetación sumergente y emergente. Las zonas más ricas en coleópteros acuáticos son las aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias. Una de las familias reportado para este orden fue Elmidae; la mayoría de los organismos se encuentra en aguas corrientes con altos contenidos de oxígeno y asociados a zonas donde se acumulan restos vegetales (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009).

Grafica N° 18. Densidad y riqueza de la comunidad de macroinvertebrados



Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Grafica N° 19. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados registrados



Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Con respecto a los índices ecológicos, los resultados obtenidos por los índices de Pielou y Simpson, determinaron que la comunidad de macroinvertebrados, se compone de poblaciones homogéneas, sustentando niveles medios de uniformidad ($J=0,7359$) y bajo dominio ($D=0,2187$), infiriendo que los diferentes factores que actúan sobre el cuerpo de agua no se encuentran favoreciendo o limitando el crecimiento de alguna de las especies. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, se encontró un valor de 2,04 bits/individuo, que sugieren diversidad media. Con respecto a los valores obtenidos para la riqueza específica descrita por el índice de Margalef, se tiene el punto de monitoreo, presenta valores medios de riqueza de especies (Tabla N° 58).

Tabla N° 58. Índices de diversidad aplicados a macroinvertebrados.

ÍNDICES	LA ESTANCIA
RIQUEZA	16
DENSIDAD	277,8
DOMINANCIA	0,2187
SHANNON-WEAVER	2,04
MARGALEF	2,676
EQUITATIVIDAD	0,7359

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Se consideran que los puntajes asignados para la calidad del agua deben ajustarse de acuerdo a las condiciones pertinentes en cada sistema como la altitud y tipo de sustrato de las corrientes de cada región, por lo que los resultados pueden ser consecuencia de las condiciones específicas del medio que no permiten una diversidad más alta de organismos. Por tal razón se procedió al cálculo del índice BMWP/Col., para el punto de muestreo registrando un valor de 108 (Tabla N° 59), los cuales corresponde para Aguas muy limpias, no contaminadas o poco alteradas (Roldan y Ramírez, 2008).

Tabla N° 59. Puntajes BMWP/Col. para las familias de macroinvertebrados bentónicos registrados

FAMILIA	PUNTAJE BMWP/COL
Tubificidae	1
Elmidae	6
Ptilodactylidae	10
Chironomidae	2
Leptophlebiidae	9
Tricorythidae	-
Naucoridae	7
Veliidae	8
Calopterygidae	7
Gomphidae	10
Libellulidae	6
Pertidae	10
Hydropsychidae	7
Leptoceridae	8
Palaemonidae	8
Ampullaridae	9
TOTAL	108

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

2.5.4.5.1 CONCLUSIONES

En términos generales, la comunidad de perifiton se caracterizó por la presencia de las diatomeas las cuales se ven favorecidas por los altos rangos de tolerancia que poseen ante cambios ambientales como pH, turbidez y contenido de nutrientes, siendo este último factor un determinante importante para su crecimiento ya que abundan en elevadas concentraciones de materia orgánica.

El ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos se constituyó principalmente por especies de las clases Insecta quienes son consideradas excelentes bioindicadores de cargas de materia orgánica, debido a que sus hábitos saprófagos aceleran los procesos de descomposición del material orgánico de origen vegetal y/o animal, liberando una gran cantidad de nutrientes al medio, transformación que conlleva a estados de eutrofización en los sistemas acuáticos.

De acuerdo a la estructura y composición de los ensamblajes ecológicos analizados por medio de los índices ecológicos mostraron una tendencia de uniformidad entre la abundancia de sus poblaciones infiriendo que las especies se hallaban de manera representativa en las muestras

2.5.4.6 Resultados E6 Inicio Muro Contención

➤ Perifiton

La comunidad de algas perifíticas estuvo conformado por los phylum Bacillariophyta y Cyanobacteria, (En cuanto al phylum Cyanobacteria, está conformado por algas poseedoras de un amplio rango de tolerancia a muchos factores, pues se encuentran distribuidas en todos los biotopos del ecosistema acuático (interfase aire-agua, toda la columna de agua, sedimento, etc.), ya que poseen adaptación cromática, la cual les permite adoptar un color aproximadamente complementario al de la luz disponible, con el fin de presentar un mejor aprovechamiento de la luz solar (Roldan, 1992), Oscillatoria con 18,0 Ind/cm²., fue el género representativo de este grupo, esta microalga es resistente a pesticidas e indicadora de aguas estancadas y eutróficas (Pinilla, 2000).

(Grafica N° 21) con una densidad de 486,0 Ind/cm² (Tabla N° 60) En cuando a la abundancia se registraron 12 morfoespecies, de las cuales el 92% corresponde a las Bacillariophyta, y el 8% a Cyanobacteria (

Grafica N° 20)

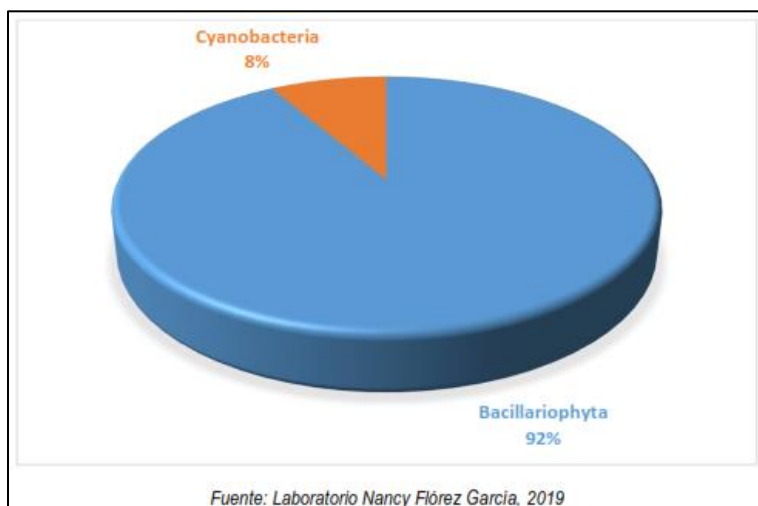
Una de las principales características del ensamblaje perifítico es el predominio de las diatomeas (Bacillariophyta); Planas (1998) considera que la mayoría de los sustratos tiende a favorecer a las diatomeas. Han sido consideradas a nivel general como colonizadoras rápidas y eficientes, al ser capaces de ocupar sustratos en un corto lapso de tiempo, el cual puede variar desde un día hasta varias semanas (Rodríguez et al., 2003), son frecuentes donde se presentan procesos de constante mezcla, turbulencia, estados de eutrofia, sucesión planctónica y sus altas densidades se pueden ver asociadas con la cantidad del sílice soluble presente en el cuerpo de agua, ya que es el compuesto básico para construir sus frústulas; por lo tanto, se espera encontrar valores bajos en la zona eutrófica de los cuerpos de agua dulce y valores altos en la zona afótica (Roldán y Ramírez, 2008). Las densidades más altas de este grupo taxonómico se reportaron por medio de Cymbella sp1 con 144,0 Ind/cm², quien es indicador de aguas con contaminación moderada a leve (Streble & Krauter, 1987).

Tabla N° 60. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	INICIO MURO DE CONTENCIÓN
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sigmaidea</i>	18,0
				<i>Nitzschia</i> sp	9,0
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i> sp	27,0
				<i>Cymbella</i> sp1	144,0
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i> sp	36,0
				<i>Gyrosigma</i> sp	27,0
				<i>Navicula</i> sp	126,0
				<i>Navicula</i> sp1	45,0
				<i>Navicula</i> sp2	9,0
				<i>Pinnularia</i> sp	9,0
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i> sp	18,0
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp	18,0
Total (Ind/cm²)					486,0

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

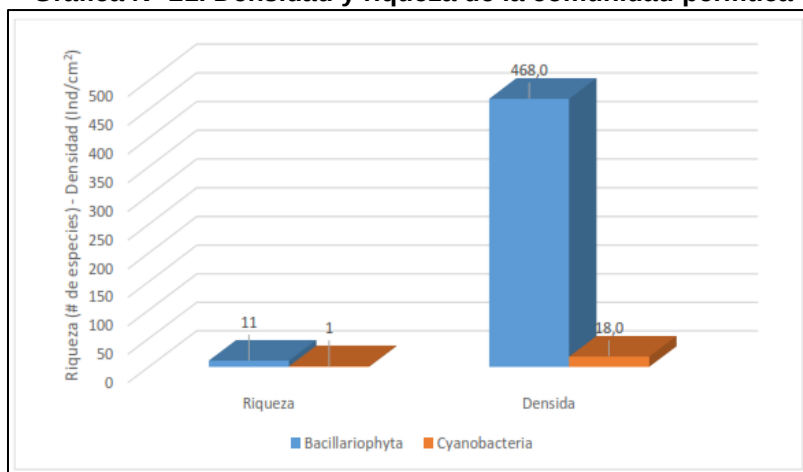
Grafica N° 20. Representatividad específica de los phylum de la comunidad perifítica registradas



En cuanto al phylum Cyanobacteria, está conformado por algas poseedoras de un amplio rango de tolerancia a muchos factores, pues se encuentran distribuidas en todos los biotopos del ecosistema acuático (interfase aire-agua, toda la columna de agua, sedimento, etc.), ya que poseen adaptación cromática, la cual les permite adoptar un color aproximadamente complementario al de la luz disponible, con el fin de presentar un mejor aprovechamiento de la luz solar (Roldan, 1992), *Oscillatoria* con 18,0 Ind/cm²., fue el género representativo de este grupo, esta

microalga es resistente a pesticidas e indicadora de aguas estancadas y eutróficas (Pinilla, 2000).

Grafica N° 21. Densidad y riqueza de la comunidad perifítica



Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Con respecto a los índices ecológicos, los resultados obtenidos por los índices de Pielou y Simpson, determinaron que la comunidad perifítica, se compone de poblaciones homogéneas, sustentando altos niveles de uniformidad ($J=0,8179$) y bajo dominio ($D=0,1804$), infiriendo que los diferentes factores que actúan sobre el cuerpo de agua no se encuentran favoreciendo o limitando el crecimiento de alguna de las especies. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, se encontró un valor de 2,032 bits/individuo, que sugieren diversidad media. Con respecto a los valores obtenidos para la riqueza específica descrita por el índice de Margalef, se tiene el punto de monitoreo, presenta valores bajo de riqueza de especies (Tabla N° 61).

Tabla N° 61. Índices de diversidad aplicados a perifiton

INDICES	INICIO MURO DE CONTENCION
RIQUEZA	12
DENSIDAD	486
DOMINANCIA	0,1804
SHANNON-WEAVER	2,032
MARGALEF	1,778
EQUITATIVIDAD	0,8179

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

➤ Macroinvertebrados

La comunidad de macroinvertebrados estuvo conformada por especies del phylum Arthropoda y Annelida, con una densidad de 91,1 Ind/m² (Tabla N° 62). En cuando a la abundancia se registraron siete (7) morfoespecies, de las cuales el 28,6 %

corresponde al orden Diptera, mientras que los órdenes Tubificida, Coleoptera, Ephemeroptera, Hemiptera y Odonata registran el 14,3% cada uno (

Grafica N° 23).

Tabla N° 62. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de macroinvertebrados registradas

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	INICIO MURO DE CONTENCIÓN
Annelida	Clitellata	Tubificida	Tubificidae	-	2,2
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmidae (Larva)	22,2
		Diptera	Chironomidae	Chironomidae morfo 2	4,4
				Chironomidae	11,1
		Ephemeroptera	Tricorythidae	-	46,7
		Hemiptera	Naucoridae	-	2,2
		Odonata	Calopterygidae	-	2,2
Total (Ind/m²)					91,1

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

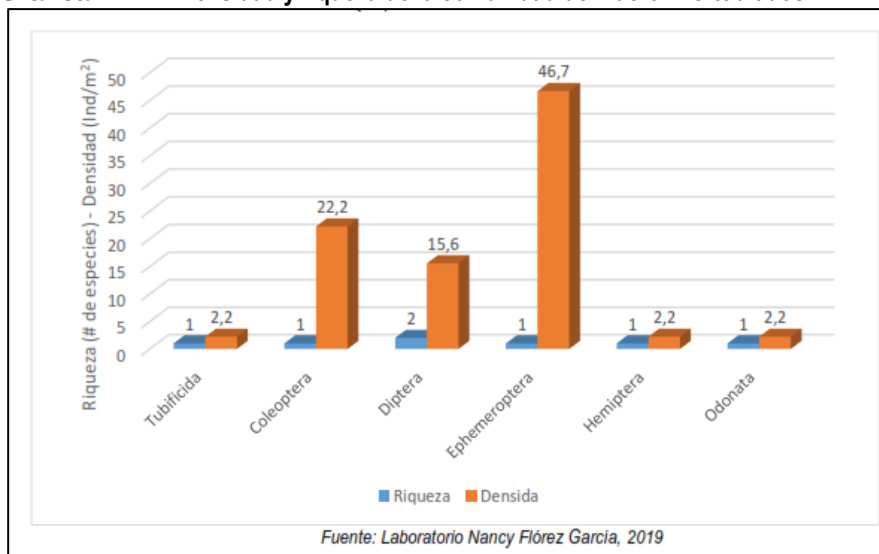
La clase insecta registró una densidad de 88,9 Ind/m². Esta clase estuvo conformada por organismos de los órdenes Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Hemiptera y Odonata. La clase Insecta; se caracteriza por encontrarse en todo tipo de hábitats y sustratos, tales como ríos, arroyos, quebradas y lagos a todas las profundidades, depósitos de agua en las brácteas de muchas plantas y en orificios de troncos viejos (Roldan, 1998), de igual forma los representantes de Insecta habitan cuerpos de agua con altas cargas de materia orgánica en descomposición y son tolerantes a condiciones adversas como contaminación (Liévano y Ospina, 2007). Debido a su evolución ecológica y la diversidad de morfologías, producto de las múltiples variaciones genéticas, fisiológicas y comportamentales han generado que sean los animales más abundantes en la naturaleza, representando más del 50% de todas las especies de animales conocidas. Son un grupo ampliamente distribuido y abundante en la naturaleza, encontrándoseles en todo tipo de ecosistemas terrestres y acuáticos, por lo cual ostentan alta tolerancia a distintas condiciones organolépticas (Roldan y Ramírez, 2008).

Dentro de la clase Insecta se destacó la familia Chironomidae con dos morfo especies; estos macroinvertebrados se caracterizan por habitar debajo de rocas y troncos; en general, en lechos donde se encuentre material vegetal en descomposición (Roldán, 2003), abundantes en todo tipo de hábitats acuáticos, toleran la contaminación alta en especial por concentraciones de materia orgánica, la cual es el alimento de muchos de ellos (Liévano y Ospina, 2007). la mayor abundancia de esta familia está asociada a bajos niveles de oxígeno y altas concentraciones de recuento de mesófilos y conductividad, corrobora con la designación dada a la familia como tolerantes a altos niveles de contaminación, (Pinilla, 2000); los principales factores que influyen en la distribución de sus larvas son la temperatura y el régimen de corrientes, los que indirectamente condicionan

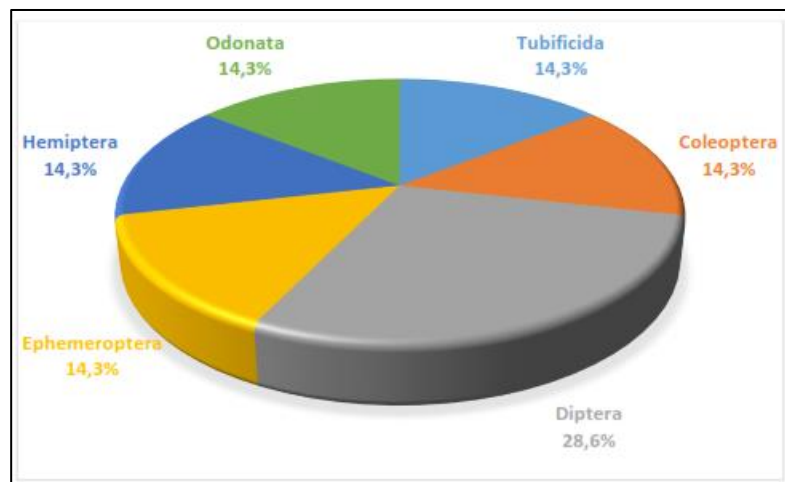
la disponibilidad de alimento y el tipo de sustrato (Armitage, et al., 1995; Lindegaard & Brodersen, 1995). Los Chironomidae son los candidatos a mejores bioindicadores de la calidad del agua, ya que normalmente dominan en términos de abundancia y número de especies, siendo los indicadores más útiles de la calidad de las aguas superficiales y la capa superior de las aguas subterráneas debido a que las larvas se ven afectadas por el contenido orgánico y la carga de metales en los sedimentos (Lencioni, et al., 2012).

El orden Ephemeroptera registro la mayor densidad de la comunidad con un valor de 46,7 Ind/m² (Grafica N° 22); este orden presenta especies que viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general, se consideran indicadores de buena calidad. Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, trocos, hojas o vegetación sumergida; algunas pocas especies se encuentran enterradas en fondos lodosos o arenosos (Vergara, 2009). Este orden estuvo constituido por las familias Tricorythidae.

Grafica N° 22. Densidad y riqueza de la comunidad de macroinvertebrados



Grafica N° 23. Representatividad específica de los órdenes de macroinvertebrados registrados



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Con respecto a los índices ecológicos, los resultados obtenidos por los índices de Pielou y Simpson, determinaron que la comunidad de macroinvertebrados, se compone de poblaciones homogéneas, sustentando niveles medios de uniformidad ($J=0,6987$) y bajo dominio ($D=0,3418$), infiriendo que los diferentes factores que actúan sobre el cuerpo de agua no se encuentran favoreciendo o limitando el crecimiento de alguna de las especies. En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Wiener, se encontró un valor de 1,36 bits/individuo, que sugieren diversidad baja. Con respecto a los valores obtenidos para la riqueza específica descrita por el índice de Margalef, se tiene el punto de monitoreo, presenta valores bajo de riqueza de especies, ya que el valor están por debajo de los valores de referencia establecidos por el índice de Margalef; donde valores inferiores a 2 son considerados como zonas de baja riqueza específica y valores por encima de 5 como de alta riqueza (Tabla N° 63).

Tabla N° 63 Índices ecológicos

ÍNDICE	INICIO MURO DE CONTENCION
RIQUEZA	7
DENSIDAD	91,1
DOMINANCIA	0,3418
SHANNON-WEAVER	1,36
MARGALEF	1,337
EQUITATIVIDAD	0,6987

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

Se consideran que los puntajes asignados para la calidad del agua deben ajustarse de acuerdo a las condiciones pertinentes en cada sistema como la altitud y tipo de sustrato de las corrientes de cada región, por lo que los resultados pueden ser consecuencia de las condiciones específicas del medio que no permiten una diversidad más alta de organismos. Por tal razón se procedió al cálculo del índice BMWP/Col., para el punto de muestreo registrando un valor de 23 (Tabla N° 64), los cuales corresponde para Aguas muy contaminadas (Roldan y Ramírez, 2008).

Tabla N° 64. Puntajes BMWP/Col. para las familias de macroinvertebrados bentónicos registrados

FAMILIA	PUNTAJE BMWP/COL
Tubificidae	1
Elmidae	6
Chironomidae	2
Tricorythidae	-
Naucoridae	7
Calopterygidae	7
TOTAL	23

Fuente: Laboratorio Nancy Flórez García, 2019

2.5.4.6.1 CONCLUSIONES

En términos generales, la comunidad de perifiton, se caracterizaron por la presencia de las diatomeas quienes se vieron favorecidas por los altos rangos de tolerancia que poseen ante cambios ambientales como pH, turbidez y contenido de nutrientes, siendo este último factor un determinante importante para su crecimiento ya que abundan en elevadas concentraciones de materia orgánica.

Teniendo en cuenta la composición de macroinvertebrados bentónicos dentro del ensamble ecológico del punto analizado es importante destacar el papel de los organismos pertenecientes a la clase Insecta y su rol en la conformación biológica y la estructura trófica de los cuerpos de agua monitoreados, por ende en todos ellos fue el grupo con mayor abundancia (Ind/m²), reportándose organismos en estadio larval como fue la familia Chironomidae, cada uno de ellos exhibiendo características morfológicas y ecológicas relacionadas con sistemas con bajos y altos caudales, así como con un tipo de sustrato diferencial, desde limoso hasta rocoso.

2.5.4.7 Índices de calidad actual del cuerpo de agua

2.5.4.7.1 Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS:

Es determinado a partir de la concentración de sólidos suspendidos, con la intervención de la variable de la turbiedad.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{ Sólidos Suspendidos } \left(\frac{mg}{L} \right)$$

Sólidos Suspendidos mayores a 340 mg/L tienen un ICOSUS=1
Sólidos Suspendidos menores a 10 mg/L tienen un ICOSUS= 0

Índice de contaminación trófico ICOTRO: Es determinado a partir de la concentración de fósforo total.

$$ICOTRO = Fósforo Total \left(\frac{mg}{L} \right)$$

La concentración de fósforo define por sí mismo una categoría discreta a saber, como se presenta a continuación:

Tabla N° 65. Valores DBO Lenta para época actual - Línea base.

Oligotrofia	<0,01 mg/L
Mesotrófica	0,01 – 0,02 mg/L
Eutrofia	0,02 – 1,00 mg/L
Hipereutrofia	>1,00 mg/L

Fuente: PORH Rio Chiriaimo, 2019.

Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO: Intervienen diferentes variables tales como nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, DBO, DQO y coliformes totales y fecales.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{Oxígeno\%})$$

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{ Log}10 * DBO \left(\frac{mg}{L} \right)$$

DBO mayores a 30 mg/L tienen un índice de DBO= 1

DBO menores a 2 mg/L tienen un índice de DBO= 0

$$I_{Coliformes} = -1,44 + 0,56 \text{ Log } 10 * Coliformes \text{ totales} \left(\frac{NMP}{100mL} \right)$$

Coliformes totales mayores a 20.000 NMP/100 ml tienen un índice de coliformes totales=1

Coliformes totales menores a 500 NMP/100 ml tienen un índice de coliformes totales=0

$$I_{Oxígeno\%} = 1 - 0,01 * Oxígeno\%$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno =0

Índice de contaminación por mineralización ICOMI: Es obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$ICOMI: \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

$$I_{Conductividad} = \log 10 * I_{Conductividad} \\ = -3,26 + 1,34 \log 10 * Conductividad(\mu \frac{S}{cm})$$

Conductividades mayores a 270 μ S/cm tienen un índice de conductividad= 1

$$I_{Dureza} = \log 10 * I_{Dureza} = -9,07 + 4,40 \log 10 * Dureza(\frac{mg}{L})$$

Durezas mayores a 110 mg/L tienen índice de dureza= 1

Durezas menores a 30 mg/L tienen índice de dureza= 0

$$I_{Alcalinidad} = -0,025 + 0,05 * alcalinidad(\frac{mg}{L})$$

Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un índice de alcalinidad= 1

Alcalinidades menores a 50 mg/L tienen un índice de alcalinidad= 0

Valoración final de los índices de contaminación: La valoración de los índices de contaminación es definida mediante un rango que va desde 0 a 1 y corresponden al valor promedio de las variables elegidas; índices próximos a cero (0) reflejan baja contaminación e índices cercanos a uno (1) reflejan posible contaminación de origen antrópico o naturales de las fuentes hídricas superficiales.

Existe un código de colores para facilitar la interpretación de los valores de los índices de contaminación (ICOS), los cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla N° 66. Valores de interpretación de índices de contaminación

VALOR ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN	GRADO DE CONTAMINACIÓN
0,00 – 0,20	Ninguno
0,21 – 0,40	Bajo
0,41 – 0,60	Medio
0,61 – 0,80	Alto
0,81 – 1,00	Muy alto

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.5.4.7.2 Índice de calidad del agua época seca.

A continuación, se presentan los resultados de los índices de contaminación por mineralización (ICOMI), por Materia Orgánica (ICOMO), por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y, por último, el Índice de Calidad del Agua (ICA) para el río Chiriaimo, durante el período seco para cada una de las estaciones registradas:

Tabla N° 67 Índices de contaminación para la estación 1 en época seca.

ICA RIO CHIRIAIMO - SECO		
ESTACIÓN	E1	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,15	BAJO
ICOMO	0,36	
ICOSUS	0,06	
INDICE ICA	0,22	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 1 (E1) que se encuentra aguas arriba, cada uno de estos se encuentra dentro del rango “Bajo”.

Tabla N° 68. Índices de contaminación para la estación 2 en época seca.

ICA RIO CHIRIAIMO - SECO		
ESTACIÓN	E2	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,79	MEDIO
ICOMO	0,67	
ICOSUS	0,06	
INDICE ICA	0,44	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Para la estación 2 (E2) que se encuentra aguas arriba, se presentan los resultados de los índices de contaminación en la tabla anterior, cada uno de estos se encuentra dentro del rango “Medio”.

Tabla N° 69 Índices de contaminación para la estación 3 en época seca.

ICA RIO CHIRIAIMO - SECO		
ESTACIÓN	E3	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,80	BAJO
ICOMO	0,48	
ICOSUS	0,04	
INDICE ICA	0,34	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 3 (E3) los cuales indican que estos se encuentran dentro del rango “Bajo”.

Tabla N° 70. Índices de contaminación para la estación 4 en época seca.

ICA RIO CHIRIAIMO - SECO		
ESTACIÓN	E4	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,83	BAJO
ICOMO	0,43	
ICOSUS	0,02	
INDICE ICA	0,31	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Los resultados de los índices de contaminación para la estación 4 (E4) que se encuentra aguas arriba, se encuentra dentro del rango “Bajo”, tal y como se puede observar en la tabla anterior.

Tabla N° 71. Índices de contaminación para la estación 5 en época seca

ICA RIO CHIRIAIMO - SECO		
ESTACIÓN	E5	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,81	BAJO
ICOMO	0,36	
ICOSUS	0,00	
INDICE ICA	0,26	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 5 (E5) que se encuentra aguas arriba, los cuales se encuentran dentro del rango “Bajo”.

Tabla N° 72. Índices de contaminación para la estación 6 en época seca.

ICA RIO CHIRIAIMO - SECO		
ESTACIÓN	E6	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,78	BAJO
ICOMO	0,48	
ICOSUS	0,01	
INDICE ICA	0,32	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Los resultados de los índices de contaminación para la estación 6 (E6) que se encuentra aguas arriba, muestra que cada uno de estos se encuentra dentro del rango “Bajo”, tal y como se aprecia en la tabla anterior.

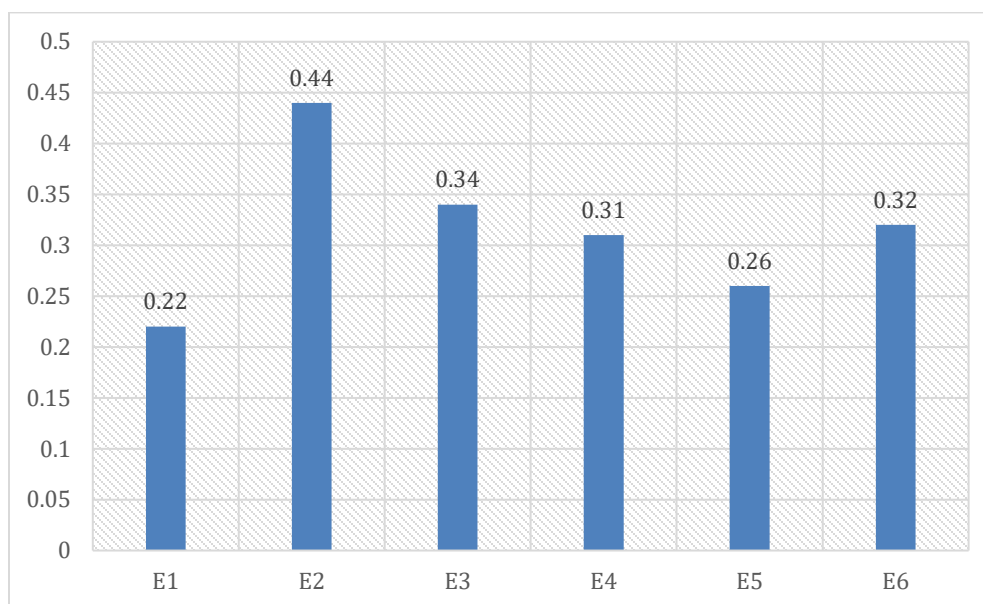
Tabla N° 73. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época seca.

ÍNDICE ICA POR ESTACIONES DE MONITOREO-SECO		
ESTACIÓN	VALOR	GRADO DE CONTAMINACIÓN
E-1	0,22	Bajo
E-2	0,44	Medio
E-3	0,34	Bajo
E-4	0,31	Bajo
E-5	0,26	Bajo

E-6	0,32	Bajo
PROMEDIO	0,315	Bajo

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Grafica N° 24. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época seca.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

De la gráfica anterior, se puede determinar que durante la época seca el Índice de Calidad del Agua presentó su mayor valor de 0,44 en la estación 2 (E2) y su mínimo 0,22 en la estación 1 (E1) que se encuentra aguas arriba. Sin embargo, el río Chiriaimo mantiene un grado de contaminación bajo, por lo cual sus aguas no representan peligro alguno para la comunidad que se abastece. En la siguiente tabla se observa una comparación del Índice de Calidad del Agua (ICA) para el río Chiriaimo en época lluviosa y seca:

2.5.4.7.3 Índice de calidad del agua época lluviosa.

A continuación, se presentan los resultados de los índices de contaminación por mineralización (ICOMI), por Materia Orgánica (ICOMO), por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y, por último, el Índice de Calidad del Agua (ICA) para el río Chiriaimo durante el período lluvioso para cada una de las estaciones registradas:

Tabla N° 74. Índices de contaminación para la estación 1 en época lluviosa.

ICA RIO CHIRIAIMO - LLUVIOSO		
ESTACIÓN	E1	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,18	BAJO
ICOMO	0,43	
ICOSUS	0,01	
INDICE ICA	0,24	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la tabla anterior, se muestran los resultados de los Índices de Contaminación para la estación 1 (E1) que se encuentra aguas arriba, donde se puede observar que cada uno de estos se encuentra dentro del rango “Bajo”, por lo cual es posible que estas aguas presenten una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también presenta niveles adecuados para su utilización en diferentes actividades antrópicas.

Tabla N° 75. Índices de contaminación para la estación 2 en época lluviosa.

ICA RIO CHIRIAIMO - LLUVIOSO		
ESTACIÓN	E2	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,79	BAJO
ICOMO	0,48	
ICOSUS	0,00	
INDICE ICA	0,32	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los Índices de contaminación para la estación 2 (E2) ubicadas aguas arriba, los cuales se encuentran dentro del rango “Bajo”, razón por la que es posible que estas aguas presentan un alto grado de diversidad en la vida acuática y así mismo, cuentan con niveles adecuados para ser utilizadas en beneficio de diferentes actividades antrópicas.

Tabla N° 76. Índices de contaminación para la estación 3 en época lluviosa.

ICA RIO CHIRIAIMO - LLUVIOSO

ESTACIÓN	E3	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,80	MEDIO
ICOMO	0,48	
ICOSUS	0,00	
INDICE ICA	0,42	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la tabla anterior, se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 3 (E3) que se encuentra en la parte media del río, en donde se puede apreciar que estos se encuentran dentro del rango “medio” por lo cual es posible que estas aguas tengan menor diversidad de la vida acuática.

Tabla N° 77. Índices de contaminación para la estación 4 en época lluviosa.

ICA RIO CHIRIAIMO – LLUVIOSO		
ESTACIÓN	E4	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,7	BAJO
ICOMO	0,51	
ICOSUS	0,00	
INDICE ICA	0,33	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la tabla anterior, se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 4 (E4) que se encuentra en la parte media del río, en donde se puede apreciar que estos se encuentran dentro del rango “bajo” por lo cual es posible que estas aguas tengan menor diversidad de la vida acuática.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 5 (E5) que se encuentra aguas arriba:

Tabla N° 78. Índices de contaminación para la estación 5 en época lluviosa

ICA RIO CHIRIAIMO – LLUVIOSO		
ESTACIÓN	E5	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,55	BAJO
ICOMO	0,51	
ICOSUS	0,00	
INDICE ICA	0,31	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Para los resultados de los Índices de contaminación en la estación 5 (E5), se puede observar que se encuentran dentro del grado de contaminación “Bajo”.

Tabla N° 79. Índices de contaminación para la estación 6 en época lluviosa.

ICA RIO CHIRIAIMO – LLUVIOSO		
ESTACIÓN	E6	GRADO DE CONTAMINACIÓN
ICOMI	0,78	BAJO
ICOMO	0,42	
ICOSUS	0,00	
INDICE ICA	0,29	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

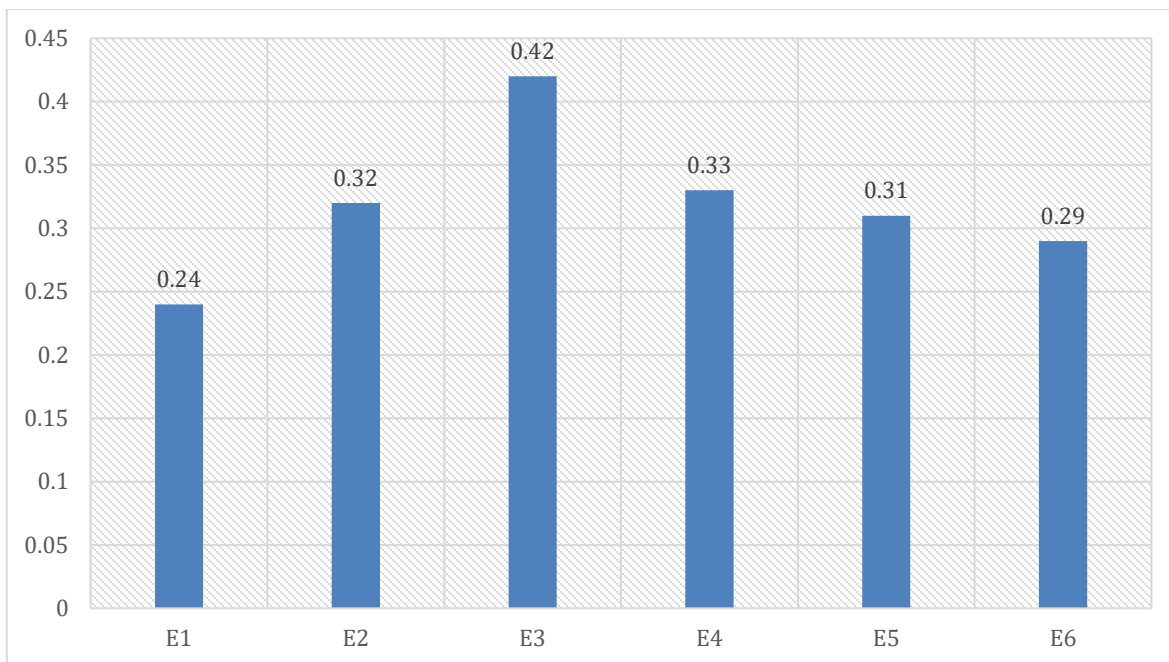
Por último, en la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 6 (E6), la cual se ubica aguas arriba, donde se observa que cada uno de estos se encuentra dentro del rango “Bajo”

Tabla N° 80. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época lluviosa.

ÍNDICE ICA POR PUNTOS DE MONITOREO-LLUVIOSO		
ESTACIÓN	VALOR	GRADO DE CONTAMINACIÓN
E-1	0,24	Bajo
E-2	0,32	Bajo
E-3	0,42	Medio
E-4	0,33	Bajo
E-5	0,31	Bajo
E-6	0,29	Bajo
PROMEDIO	0,318	Bajo

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Grafica N° 25. Índice ICA por estaciones de monitoreo en época lluviosa.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

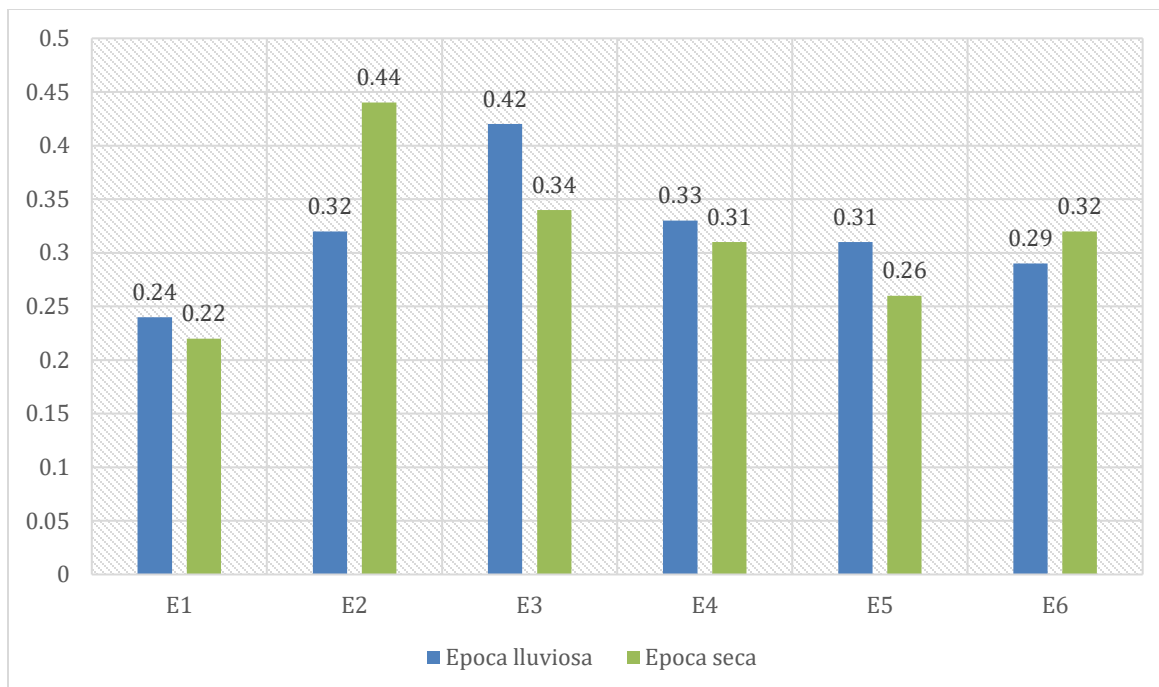
De la gráfica anterior, donde se encuentran relacionados los ICA para cada una de las estaciones de monitoreo en época lluviosa, se puede determinar que durante la época lluviosa el índice de calidad del agua presentó su mayor valor 0,42 en la estación 3 (E3) y su mínimo 0,24 en la estación 1 (E1) que se encuentra aguas arriba. Sin embargo, el río Chiriaimo mantiene un grado de contaminación bajo, por lo cual sus aguas no representan peligro alguno para la comunidad que se abastece de el y pueden ser provechosas para el consumo de la misma.

Tabla N° 81. Índice de Calidad del Agua (ICA) en época lluviosa seca.

ESTACIÓN	ÉPOCA LLUVIOSA	ÉPOCA SECA
E-1	0,24	0,22
E-2	0,32	0,44
E-3	0,42	0,34
E-4	0,33	0,31
E-5	0,31	0,26
E-6	0,29	0,32

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

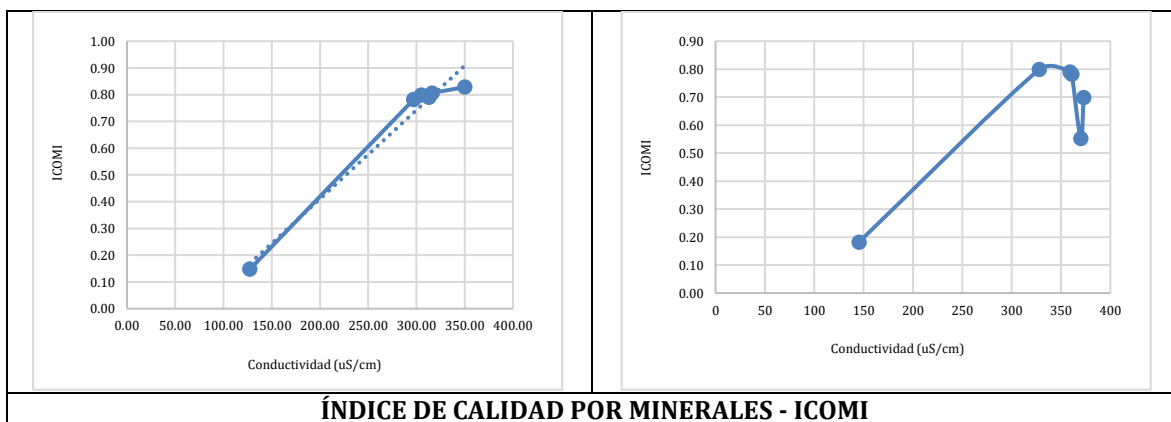
Grafica N° 26. Índice de Calidad del Agua (ICA) en época lluviosa y seca.

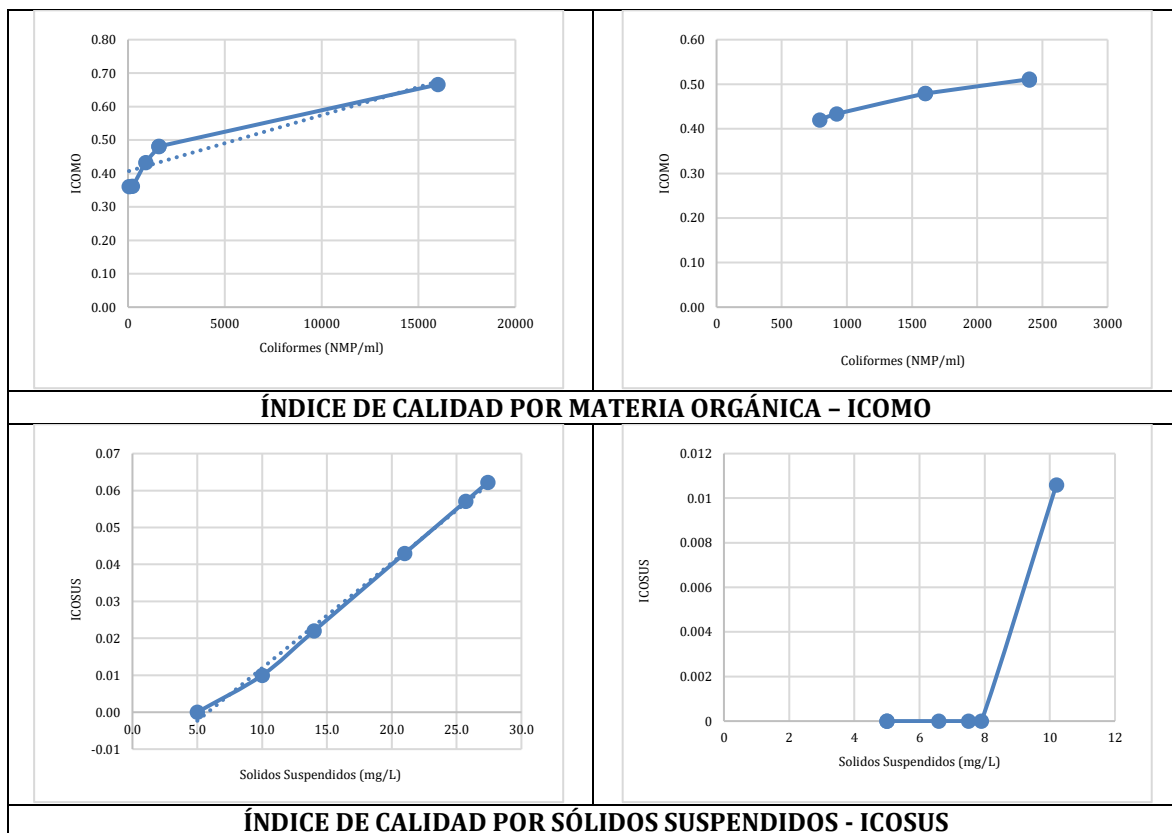


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la Grafica N° 26. Índice de Calidad del Agua (ICA) en época lluviosa y seca. En la Grafica N° 26, se observa la comparación en época lluviosa y seca del Índice de Calidad del Agua (ICA) para el río Chiriaimo, donde la serie 1 representa la época lluviosa, la cual presentó un mayor valor con 0,44 en la estación 2 (E2); por su parte, la serie 2 representa la época seca en la cual se observa el menor valor general en la estación 1 (E1).

Grafica N° 27 Índice de calidad del agua vs concentraciones.





Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.5.4.7.4 Índice de Langelier.

El índice de Langelier permite conocer la calidad del agua proporcionando información sobre el carácter incrustante o agresivo del agua y está fundamentado en equilibrios del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total en el agua. Este índice es un criterio fundamental para conocer la corrosión o incrustación en las redes de distribución del agua e instalaciones interiores industriales y domésticas.

Es importante aclarar que para su determinación se consideraron los resultados de los monitoreos para época seca y lluviosa. El índice de Langelier considera las siguientes premisas:

Si el índice es 0: El agua está perfectamente equilibrada. No existe formación de incrustaciones ni eliminación de las mismas.

Si el índice es negativo: Indica que el agua es corrosiva. Agua no saturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO_3). El agua no saturada posee la tendencia de

eliminar láminas de carbonato cálcico (CaCO_3) presentes que protegen las tuberías y equipos.

Si el índice es positivo: Indica que el agua es incrustante. Agua supersaturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO_3). Posible formación de incrustaciones (Universidad, Alicante).

En la práctica se adoptan los siguientes valores: $\text{LSI} > 0.5$, el agua es incrustante y si $\text{LSI} < 0.5$ el agua es agresiva.

➤ Alcalinidad

La alcalinidad de una muestra de agua es una medida de su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio, (H^+), hasta un valor de pH igual a 4,5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en disolución, y en menor grado por los boratos, fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra. En el caso del agua tanto natural como tratada, la alcalinidad usualmente se debe fundamentalmente a la presencia de iones carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$) y bicarbonatos (HCO_3^-), asociados con los cationes Na^+ , K^+ Ca^{+2} y Mg^{+2} (Universidad, Alicante).

➤ Dureza

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad. La unidad de medida de la dureza que se utiliza más habitualmente son los grados hidrométricos franceses ($^\circ \text{H F}$). (FACSA).

➤ Temperatura

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q10), aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos. Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor. La temperatura se determina mediante termometría realizada “*in situ*” (Aznar jimenez). La temperatura afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. El agua a menor temperatura transporta más oxígeno y todos los animales acuáticos necesitan este para sobrevivir. También influye en la fotosíntesis de plantas y algas, y la sensibilidad de los organismos frente a los residuos tóxicos. El aumento de la temperatura en los ríos se puede deber a vertidos de agua caliente de plantas

industriales, especialmente de agua de refrigeración. También se puede deber a la escasez de árboles en la orilla del río, provocando que no haya mucha sombra. El índice de Langelier, se calcula utilizando datos tabulados que se encuentran relacionados directamente a los parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente, su cálculo depende de la interpolación del valor del parámetro de monitoreo en bruto considerando los siguientes coeficientes:

Tabla N° 82. Cálculo para el índice de Langelier.

Temperatura		Dureza Cálctica		Alcalinidad Total	
°C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0	5	0.7	5	0.7
4	0.1	25	1.4	25	1.4
8	0.2	50	1.7	50	1.7
12	0.3	75	1.9	75	1.9
16	0.4	100	2.0	100	2.0
20	0.5	150	2.2	150	2.2
24	0.6	200	2.3	200	2.3
28	0.7	250	2.4	250	2.4
32	0.7	300	2.5	300	2.5
36	0.8	400	2.6	400	2.6
40	0.9	500	2.7	500	2.7
50	1.0	1000	3.0	1000	3.0

Fuente: (Navarro, 2018).

A partir de la tabla anterior, se aplica la siguiente fórmula para el cuerpo de agua continental que es objeto de estudio (Río Chiriaimo).

$$IL = pH + TF + HF + AF - 12.5$$

2.5.4.7.4.1 ÍNDICE DE SATURACIÓN DE Langelier en ÉPOCA SECA.

A continuación, se presentan los resultados del índice de Saturación de Langelier y de los parámetros Temperatura, dureza y alcalinidad para el río Chiriaimo durante el período seco para cada una de las estaciones registradas:

Tabla N° 83. Parámetros e Índice de Langelier, estación 1 en época seca.

ESTACIÓN 1 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,46	INCRUSTANTE

ESTACIÓN 1 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
DUREZA	2,31	
ALCALINIDAD	1,74	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	0,75	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 1 (E1) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante” durante el periodo seco.

Tabla N° 84. Parámetros e Índice de Langelier, estación 2 en época seca.

ESTACIÓN 2 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,61	INCRUSTANTE
DUREZA	2,228	
ALCALINIDAD	2,096	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,2	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 2 (E2) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante” durante el periodo seco.

Tabla N° 85. Parámetros e Índice de Langelier, estación 3 en época seca.

ESTACIÓN 3 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,64	INCRUSTANTE
DUREZA	2,232	
ALCALINIDAD	2,116	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,27	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 3 (E3) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante” durante el periodo seco.

Tabla N° 86. Parámetros e Índice de Langelier, estación 4 en época seca.

ESTACIÓN 4 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,62	INCRUSTANTE
DUREZA	2,176	
ALCALINIDAD	2,188	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,28	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 4 (E4) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante” durante el periodo seco.

Tabla N° 87. Parámetros e Índice de Langelier, estación 5 en época seca.

ESTACIÓN 5 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,7475	INCRUSTANTE
DUREZA	2,218	
ALCALINIDAD	2,132	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,52	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 5 (E5) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante” durante el periodo seco.

Tabla N° 88. Parámetros e Índice de Langelier, estación 6 en época seca.

ESTACIÓN 6 - ÉPOCA SECA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,7	INCRUSTANTE
DUREZA	2,2	
ALCALINIDAD	2,076	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,42	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

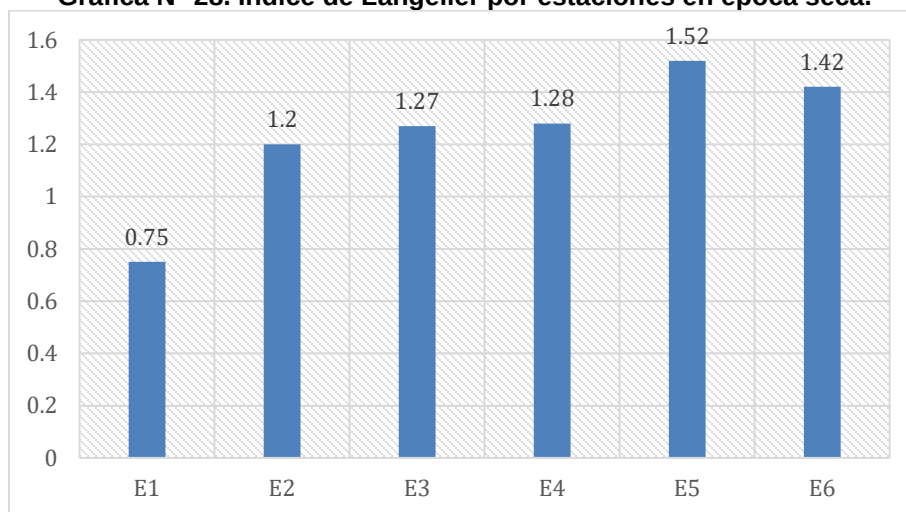
En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 6 (E6) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante” durante el periodo seco.

Tabla N° 89. Índice de Langelier por estaciones en época seca.

ÍNDICE DE LANGELIER POR ESTACIONES EN ÉPOCA SECA		
ESTACIÓN	VALOR	RESULTADO
E-1	0,75	Incrustante
E-2	1,2	Incrustante
E-3	1,27	Incrustante
E-4	1,28	Incrustante
E-5	1,52	Incrustante
E-6	1,42	Incrustante

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Grafica N° 28. Índice de Langelier por estaciones en época seca.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

De la Grafica N° 28. **Índice de Langelier por estaciones en época seca.** se puede determinar que durante la época seca el valor mayor registrado de acuerdo al indice de saturación de Langelier se presentó en la estacion 5 (E5) con 1,52 y el minimo fue en la estacion 1 (E1) con 0,75 y el agua es incrustada.

2.5.4.7.4.2 ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER EN ÉPOCA LLUVIOSA.

A continuación, se presentan los resultados del Índice de Saturación de Langelier y de los parámetros Temperatura, Dureza y Alcalinidad para el río Chiriaimo durante el período lluvioso para cada una de las estaciones registradas:

Tabla N° 90. Parámetros e Índice de Langelier, estación 1 en época lluviosa

ESTACIÓN 1 - ÉPOCA LLUVIOSA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,47	INCRUSTANTE
DUREZA	2,31	
ALCALINIDAD	1,84	
ÍNDICE DE Langelier Agua Superficial	0,73	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los Índices de Contaminación para la estación 1 (E1) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al Índice de Saturación de Langelier fue “Agua incrustante”.

Tabla N° 91. Parámetros e Índice de Langelier, estación 2 en época lluviosa

ESTACIÓN 2 - ÉPOCA LLUVIOSA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,5975	INCRUSTANTE
DUREZA	2,12	
ALCALINIDAD	2,168	
INDICE DE Langelier Agua Superficial	1,11	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los Índices de contaminación para la estación 2 (E2) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante”.

Tabla N° 92. Parámetros e Índice de Langelier, estación 3 en época lluviosa

ESTACIÓN 3 - ÉPOCA LLUVIOSA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,7	INCRUSTANTE
DUREZA	2,128	
ALCALINIDAD	2,144	
INDICE DE Langelier Agua Superficial	1,22	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 3 (E3) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante”.

Tabla N° 93. Parámetros e Índice de Langelier, estación 4 en época lluviosa.

ESTACIÓN 4 - ÉPOCA LLUVIOSA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,6475	INCRUSTANTE
DUREZA	2,016	
ALCALINIDAD	2,258	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	0,54	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 4 (E4) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante”.

Tabla N° 94. Parámetros e Índice de Langelier, estación 5 en época lluviosa.

ESTACIÓN 5 - ÉPOCA LLUVIOSA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,655	INCRUSTANTE
DUREZA	1,9368	
ALCALINIDAD	2,242	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,26	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 5 (E5) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante”.

Tabla N° 95. Parámetros e Índice de Langelier, estación 6 en época lluviosa.

ESTACIÓN 6 - ÉPOCA LLUVIOSA		
PARÁMETRO	VALOR	RESULTADO
TEMPERATURA	0,66	INCRUSTANTE
DUREZA	2,2	
ALCALINIDAD	2,152	
INDICE DE LANGELIER AGUA SUPERFICIAL	1,51	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

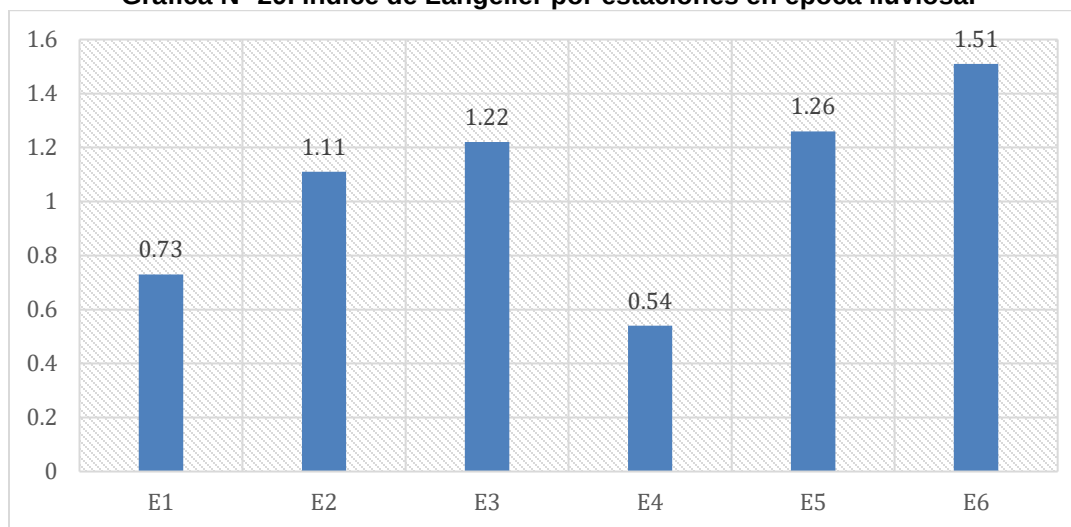
En la anterior tabla se muestran los resultados de los índices de contaminación para la estación 6 (E6) que se encuentra aguas arriba. El resultado de acuerdo al índice de saturación de Langelier fue “Agua incrustante”. En la Tabla N° 96 se presenta el resumen del índice de Langelier por estación para época lluviosa del río Chiriaimo.

Tabla N° 96 Índice de Langelier por estaciones en época lluviosa

ÍNDICE DE LANGELIER POR ESTACIONES EN ÉPOCA LLUVIOSA		
ESTACIÓN	VALOR	RESULTADO
E-1	0,73	Incrustante
E-2	1,11	Incrustante
E-3	1,22	Incrustante
E-4	0,54	Incrustante
E-5	1,26	Incrustante
E-6	1,51	Incrustante

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Grafica N° 29. índice de Langelier por estaciones en época lluviosa.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

De la gráfica anterior se puede concluir que para la época lluviosa el valor máximo registrado fue de 1,51 en la estación 6 (E6) y el valor mínimo registrado fue de 0,54 en la estación 4 (E4) y el agua es incrustada de acuerdo al Índice de saturación de Langelier.

En la siguiente tabla se observa una comparación del Índice de Saturación de Langelier para el río Chiriaimo en época lluviosa y seca:

Tabla N° 97. Índice de saturación de Langelier en época lluviosa y seca.

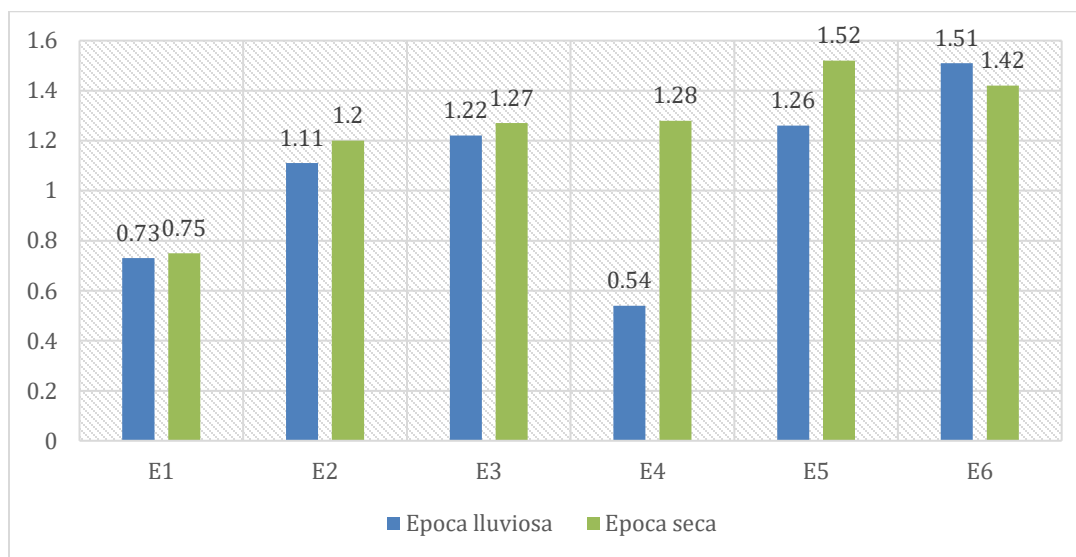
ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER EN ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA
--

ESTACIÓN	ÉPOCA LLUVIOSA	ÉPOCA SECA
E-1	0,73	0,75
E-2	1,11	1,2
E-3	1,22	1,27
E-4	0,54	1,28
E-5	1,26	1,52
E-6	1,51	1,42

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la gráfica Grafica N° 30 se observa la comparación en época lluviosa y seca del Índice de Saturación de Langelier para el río Chiriaoimo. La serie 1 representa la época lluviosa que presentó el menor valor general registrado con 0,54 en la estación 4 (E4) y la serie 2 representa la época seca que muestra el mayor valor general registrado en la estación 5 (E5).

Grafica N° 30. Índice de saturación de Langelier en época lluviosa y seca.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.5.5 Objetivos de calidad

2.5.5.1 Establecimiento de categorías y definición de las convenciones

Teniendo en cuenta los diferentes criterios de calidad que a nivel normativo permiten llevar a cabo determinados usos del recurso, se lleva a cabo el establecimiento de las categorías, lo cual consiste en agrupar varios usos en concordancia con lo mencionado. Esta categorización suele establecerse mediante la definición de un código de colores para cada uno de los niveles o categorías, que faciliten la identificación de cada una de ellas.

Para el caso de la microcuenca río Chiriaimo, los usos del agua identificados se clasificaron en seis (6) categorías (I - VI) como se puede observar en la Tabla N° 98. Agrupación de usos del agua y determinación de convenciones..

Tabla N° 98. Agrupación de usos del agua y determinación de convenciones.

CATEGORÍA	USOS PERMITIDOS	CRITERIOS DE CALIDAD	CONVENCIÓN
I	Pesca, Maricultura Acuicultura	Recurso Hídrico en Estado Natural. Agua de muy buena Calidad	Azul Oscuro
II	Recreativo (Contacto primario y secundario)	Recurso Hídrico levemente contaminado. Agua de buena Calidad	Azul
III	Consumo Humano Doméstico	Recurso Hídrico levemente contaminado. Agua de buena Calidad	Verde
IV	Industrial, Pecuario, Agrícola y Generación de Energía	Recurso Hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada.	Amarillo
V	Estético	Recurso Hídrico contaminado. Agua altamente contaminada.	Naranja
VI	Sin uso	Recurso Hídrico muy contaminado. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.	Rojo

Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019.

Es importante mencionar que el uso de consumo humano y doméstico se presenta en una categoría III, lo que corresponde a que por encima de este se ubiquen dos (2) categorías con un mejor nivel de calidad, y por ende permite concentraciones más altas. Sin embargo, esta clasificación tiene en consideración la implementarse sistemas de tratamiento que favorezcan la remoción de la mayor parte de la concentración de los parámetros considerados, razón por la que al final del proceso su calidad será mejor en comparación con el resto de las categorías.

2.5.5.2 Selección de parámetros y concentraciones

Estos parámetros son seleccionados teniendo en cuenta el uso del agua y algunos aspectos principales como lo son los aspectos técnicos, legales y los usos actuales y futuros. En cuanto a los aspectos técnicos se seleccionan parámetros que sean representativos de contaminación por presencia de residuos orgánicos, nutrientes y patógenos. Legalmente, se tiene en cuenta lo estipulado en el Decreto 2667/2012 (Cargas contaminantes), los parámetros de DBO5 y Sólidos Suspendidos Totales (SST), son de obligatoria determinación. Mientras que para los usos se enfoca en mantener la sostenibilidad del recurso para garantizar su destinación a los usos de consumo humano y doméstico.

Teniendo en cuenta lo anterior los parámetros seleccionados para llevar a cabo la determinación de los objetivos de calidad son:

- **Presencia de materia orgánica y cumplimiento del Decreto 2667/2012:** DBO5 y Sólidos Suspendedos Totales (SST).
- **Presencia de nutrientes (Estado Trófico):** Nitrógeno Total y Fósforo Total.
- **Presencia de microorganismos:** Coliformes.

Tabla N° 99. Concentraciones máximas permisibles teniendo en cuenta el uso del agua actual y futuro.

USO	Coliformes Fecales NMP /100 mL	DBO5 mg/L	Fósforo Total mg/L	Sólidos Suspendedos mg/L	Nitrógeno mg/L
Consumo Humano y Domestico. (Tratamiento Convencional).	2000 ^A	---	---	---	---
Consumo Humano y Domestico. (Desinfección).	---	---	---	---	---
Pecuario	---	---	---	---	---
Recreativo - Contacto primario	200 ^A	20 ^E	Baja ^A	---	Baja ^A
Recreativo - Contacto Secundario	<200 ^D	<100 ^E	Baja ^A	---	Baja ^A
Estético.	---	30 ^B	---	---	---
Industrial (Explotación manual materiales de construcción)	---	---	1.0 ^B	---	---
Industrial (Enfriamiento Industrial).	---	---	5 ^B	5000 ^C	---
Industrial en general	---	---	---	1000 ^C	---
Riego Restringido (Cultivo alimentos procesados comercialmente o no comestibles).	≤ 1000 ^A	≤30 ^D	---	50 ^F	---
Riego no Restringido (Cultivo alimentos no procesados comercialmente).	≤ 1000 ^A	---	---	---	---
Piscicultura	100 ^B	5 ^C	0.1 ^B	25 ^F	0.55 ^F

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

A: Extraído Decreto 1076 de 2016 – Norma Colombiana.

B: Carlos Sierra Ramírez - elaboración propia – Tomado del libro Calidad del Agua Evaluación y diagnóstico. Capítulo 4.

C: Carlos Sierra Ramírez – Adaptado de la referencia [2] presente en el libro Calidad del Agua Evaluación y diagnóstico. Capítulo 4.

D: Carlos Sierra Ramírez – Tomado de la referencia [1] presente en el libro Calidad del Agua Evaluación y diagnóstico. Capítulo 4.

E: Carlos Sierra Ramírez – Tomado de la referencia [3 y 4] presente en el libro Calidad del Agua Evaluación y diagnóstico. Capítulo 4.

F: Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Estados Unidos Mexicanos. - Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Tabla N° 100. Normatividad Colombiana.

USO	Norma Colombiana decreto 1076 de 2015		
	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L
Consumo Humano y Domestico. (Tratamiento Convencional).	2000	-	12
Consumo Humano y Domestico. (Desinfección).	-	-	12
Pecuario	-	-	<100
Recreativo - Contacto primario	200	-	-
Recreativo - Contacto Secundario	-	-	-
Estético.	-	-	-
Industrial (Explotación manual de materiales de construcción)	-	-	-
Industrial (Enfriamiento Industrial).	-	-	-
Industrial en general	-	-	-
Riego Restringido (Cultivo de alimentos procesados comercialmente o no comestibles).	<1000	-	-
Riego no Restringido (Cultivo alimentos no procesados comercialmente).	<1000	-	-
Piscicultura	-	-	-

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 101. Normatividad y estándares internacionales.

USO	EPA			OMS establecidas en Génova 1993			Estándares Europeos directiva 98/83/EC de 1998		
	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L
Consumo Humano y Domestico. (Tratamiento Convencional).	-	-	11	-	-	50	-	-	50,5
Consumo Humano y Domestico. (Desinfección).	-	-	11	-	-	50	-	-	50,5
Pecuario	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

USO	EPA			OMS establecidas en Génova 1993			Estándares Europeos directiva 98/83/EC de 1998		
	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L
Recreativo - Contacto primario	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recreativo - Contacto Secundario	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estético.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial (Explotación manual de materiales de construcción)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial (Enfriamiento Industrial).	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial en general	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riego Restringido (Cultivo de alimentos procesados comercialmente o no comestibles).	-	-	-	-	-	-	-	0,2 - 2	10 a 15
Riego no Restringido (Cultivo de alimentos no procesados comercialmente).	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piscicultura	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 102. Acuerdos mexicanos.

USO	Acuerdo CE-CCA001/89 E. U de México			NOM-001 SERMANAT 1996 México		
	Coliformes Fecales NMP /100	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L
Consumo Humano y Domestico. (Tratamiento Convencional).	1000	-	5,05	-	-	-
Consumo Humano y Domestico. (Desinfección).	1000	-	5,05	-	-	-
Pecuario	-	-	100	-	-	-

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

USO	Acuerdo CE-CCA001/89 E. U de México			NOM-001 SERMANAT 1996 México		
	Coliformes Fecales NMP /100	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L	Coliformes Fecales NMP /100 mL	Fósforo Total mg/L	Nitrógeno mg/L
Recreativo - Contacto primario	-	-	-	-	30	60
Recreativo - Contacto Secundario	-	-	-	-	30	60
Estético.	-	-	-	-	5	15
Industrial (Explotación manual materiales de construcción)	-	-	-	-	-	-
Industrial (Enfriamiento Industrial).	-	-	-	-	-	-
Industrial en general	-	-	-	-	-	-
Riego Restringido (Cultivo de procesados comercialmente comestibles).	1000	-	-	-	30	60
Riego no Restringido (Cultivo no procesados comercialmente).	1000	-	-	-	30	60
Piscicultura	-	-	0,55	-	-	-

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En relación con la información discriminada en las tablas anteriores, donde se realiza el cruce de las determinaciones de usos de acuerdo a diferentes disposiciones normativas o acuerdos, los objetivos de calidad para cada una de las categorías se establecen definiendo diferentes concentraciones máximas permisibles de los parámetros evaluados, considerando los usos presentes en estas categorías y, por último, considerando la concentración más restrictiva de todas las evaluadas por cada uno de los parámetros.

Con base en lo definido anteriormente, se procede a definir los objetivos de calidad del agua de cada categoría de acuerdo a los parámetros seleccionados.

Tabla N° 103. Objetivos de calidad por categoría de los parámetros seleccionados.

CATEGORÍA	USOS PERMITIDOS	CRITERIOS DE CALIDAD	CONVENCIÓN	E. Coli NMP /100 mL	DBO 5 mg/L	Fósforo Total mg/L	Solidos Suspendidos mg/L	Nitrógeno Total mg/L
-----------	-----------------	----------------------	------------	---------------------	------------	--------------------	--------------------------	----------------------

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

I	Pesca, Maricultura y Acuicultura.	Recurso Hídrico en Estado Natural. Agua de muy buena Calidad	Azul Oscuro	100	5	0,1	5	0,55
II	Recreativo (Contacto primario y secundario)	Recurso Hídrico levemente contaminado. Agua de buena Calidad	Azul	200	20	30	20	12
III	Consumo Humano y Doméstico	Recurso Hídrico levemente contaminado. Agua de buena Calidad	Verde	2000	20	30	20	12
IV	Industrial, Pecuario, Agrícola y Generación de Energía.	Recurso Hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada.	Amarillo	1000	30	30	30	<100
V	Estético	Recurso Hídrico contaminado. Agua altamente contaminada.	Naranja	5000	30	30	30	<100
VI	Sin uso	Recurso Hídrico muy contaminado. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.	Rojo	> 5000	>30	>30	>30	>100

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.5.5.3 Establecimiento de la Categoría de Calidad del Agua.

Fueron llevadas a cabo dos campañas de monitoreo de agua superficial en época seca y época lluviosa en seis (6) puntos, como actividad complementaria al proceso de ejecución de la fase de Diagnóstico del PORH del río Chiriaimo. Asimismo, las

concentraciones promedio calculadas a partir de los reportes de resultados de dichos monitoreos para ambas épocas, se compararon con los criterios establecidos en la Tabla N° 3 con el fin de obtener la categorización actual. En la Tabla N° 104, se puede apreciar que la categoría para cada uno de los tramos se asignó teniendo en cuenta el uso más desfavorable.

Tabla N° 104. Establecimiento de categorías actuales de calidad del agua por estación de monitoreo.

ESTACIÓN	TIPO MUESTRA	DBO5 mg/L	E. Coli NMP/100mL	Fósforo Total mgP/L	Nitrógeno Total mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/	CATEGORÍA ACTUAL
E-1	Calidad	2	575	0,081	2	17,95	III
E-2	Calidad	2	8800	0,0675	2	17,45	VI
E-3	Calidad	2	1600	0,069	2	14,45	V
E-4	Calidad	2	1660	0,066	2	10,295	V
E-5	Calidad	2	1225	0,056	2	5	V
E-6	Calidad	2	1195	0,062	2	7,5	V

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.5.5.1 Determinación de los Objetivos de Calidad.

Habiendo determinado las categorías de los usos actuales en concordancia con la calidad de agua del cuerpo de agua monitoreado, se llevó a cabo la determinación de los objetivos de calidad, teniendo en cuenta los periodos de tiempo de corto, mediano y largo plazo que establece la Guía PORH. Es por esto que se propone que principalmente la calidad de los cuerpos de agua presente concentraciones favorables para el sostenimiento del uso de Consumo Humano y Doméstico, en busca de mejorar la calidad del agua de los tramos definidos de acuerdo a los tiempos estipulados. De tal modo, cabe aclarar que entre menor sea el número de la categoría, el criterio de calidad del recurso hídrico resulta más estricto

En Tabla N° 105 se presentan las categorizaciones establecidas a corto, mediano y largo plazo para el río Chiriaimo:

Tabla N° 105. Categorización a corto, mediano y largo plazo.

TRAMO	TIPO MUESTRA	CATEGORÍA ACTUAL	CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
E-1 – E2	Calidad	III	III	III	II
E-2 – E3	Calidad	VI	VI	VI	V

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

E-3 – E4	Calidad	V	V	V	IV
E-4 – E5	Calidad	V	V	V	IV
E-5 – E6	Calidad	V	V	V	IV

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Adicionalmente y de acuerdo a las categorizaciones y los objetivos de calidad establecidos, a continuación se presentan los objetivos de calidad a corto plazo (De 0 a 2 años), mediano (De 2 a 5 años) y largo plazo (5 a 10 años) (ver tablas Tabla N° 106

Tabla N° 107 Tabla N° 108)

Tabla N° 106. Objetivos de calidad – Corto plazo

TRAMO	OBJETIVO CALIDAD	Coliformes Fecales NMP /100 mL	DBO5 mg/L	Fósforo Total mg/L	Solidos Suspendidos Totales mg/L	Nitrógeno Total mg/L
E-1 – E2	III	2000	20	30	20	12
E-2 – E3	VI	> 5000	>30	>30	>30	>100
E-3 – E4	V	5000	30	30	30	<100
E-4 – E5	V	5000	30	30	30	<100
E-5 – E6	V	5000	30	30	30	<100

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 107. Objetivos de calidad – Mediano plazo.

MEDIANO PLAZO						
TRAMO	OBJETIVO CALIDAD	Coliformes Fecales NMP /100 mL	DBO5 mg/L	Fósforo Total mg/L	Solidos Suspendidos Totales mg/L	Nitrógeno Total mg/L
E-1 – E2	III	2000	20	30	20	12
E-2 – E3	VI	> 5000	>30	>30	>30	>100
E-3 – E4	V	5000	30	30	30	<100
E-4 – E5	V	5000	30	30	30	<100
E-5 – E6	V	5000	30	30	30	<100

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 108. Objetivos de calidad – Largo plazo.

LARGO PLAZO

TRAMO	OBJETIVO CALIDAD	Coliformes Fecales NMP /100 mL	DBO5 mg/L	Fósforo Total mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L	Nitrógeno Total mg/L
E-1 – E2	II	200	20	30	20	12
E-2 – E3	V	5000	30	30	30	<100
E-3 – E4	IV	1000	30	30	30	<100
E-4 – E5	IV	1000	30	30	30	<100
E-5 – E6	IV	1000	30	30	30	<100

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.6 USOS ACTUALES DEL RECURSO HÍDRICO

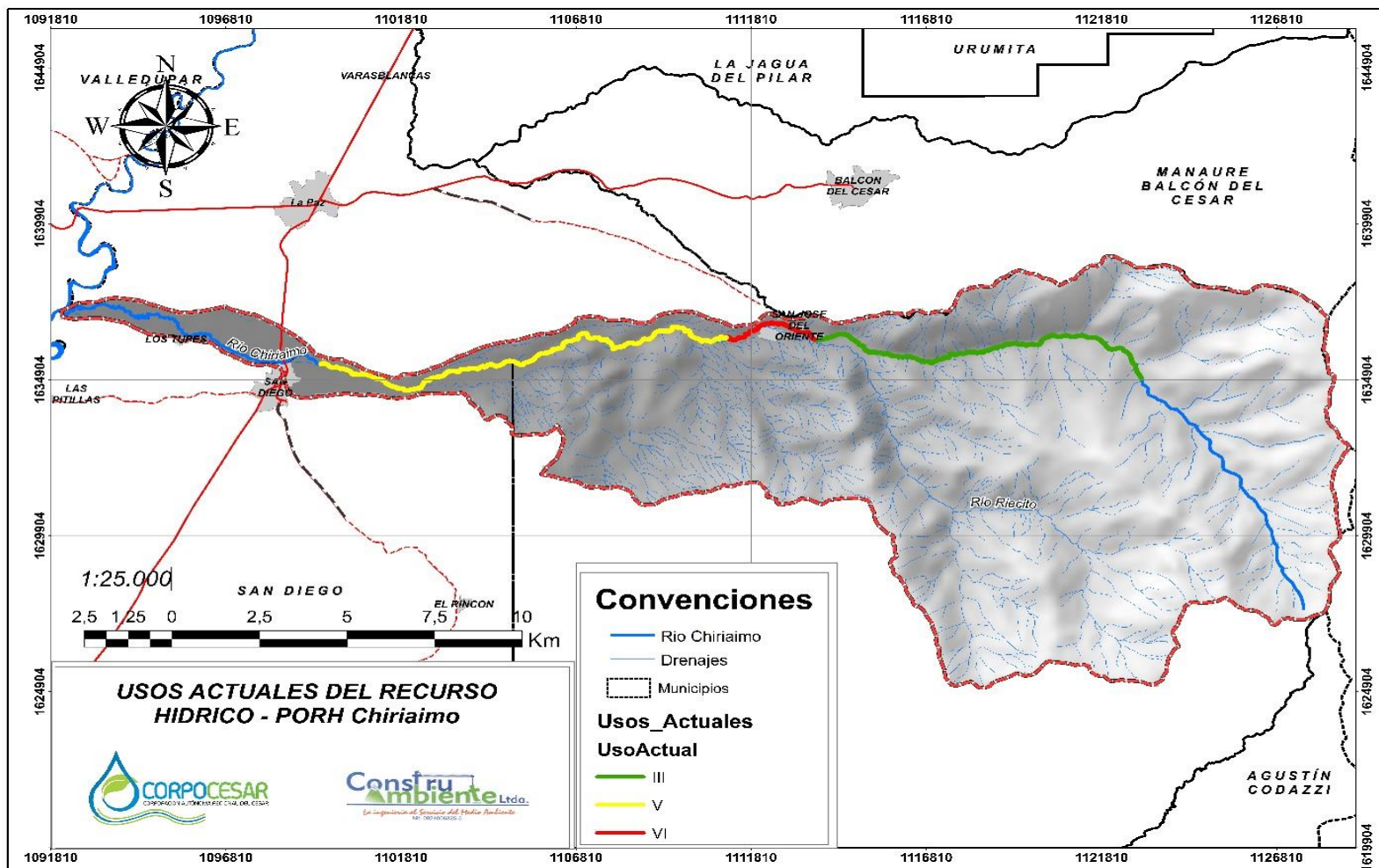
Tabla N° 109 Usos actuales del recurso hídrico

ESTACIÓN	CATEGORÍA ACTUAL
E-1	III
E-2	VI
E-3	V
E-4	V
E-5	V
E-6	V

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 7. Mapa de usos actuales del recurso hídricos por tramos de análisis



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.7 ANÁLISIS DE LOS CONFLICTOS ACTUALES DE USO POR CALIDAD

Los conflictos por uso del recurso hídrico, según la guía para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS, se definen a partir de la evaluación de indicadores como el de uso del agua (IUA) y el índice de alteración potencial de la calidad del agua – IACAL (Minambiente, 2014).

Igualmente, la guía técnica de formulación del PORH en su apartado 2.19 expone que en el marco de formulación de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico se debe realizar un análisis de los conflictos actuales de uso, teniendo en cuenta principalmente criterios de calidad, en este ítem se expone: “Determinar el conflicto de uso en la corriente principal y en los drenajes priorizados para el ordenamiento, producto de las condiciones de calidad determinadas en los análisis previstos en esta fase. Se deberán considerar aspectos como los conflictos de uso del suelo, la demanda de agua actual y la zonificación ambiental en donde hay POMCA aprobado” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, pág. 40).

Sin embargo, esta explicación deja de lado la legislación ambiental, las necesidades de los ecosistemas y las relaciones que se dan entre los diferentes actores del territorio. Lo anterior implica que sea necesario complementar el análisis de estos conflictos del uso del agua con las dinámicas socio-ambientales que se dan en el territorio por el que circula el cuerpo de agua.

A partir de esta orientación general, pero buscando ampliar la mirada al análisis de conflictos relacionados con el agua más allá de los conflictos de uso, se reconoce un referente teórico en el que se consideran seis tipologías que guían el análisis de los conflictos. Así mismo, se exponen la metodología definida para determinar y ponderar los conflictos por el agua (CpA) y se presentan los resultados del análisis de CpA, así:

- a) El reconocimiento de los conflictos que corresponden a tipologías de CpA diferentes a los conflictos entre usos, tales como conflictos entre usuarios, conflictos entre actores no usuarios y conflictos institucionales.
 - b) La identificación de los conflictos de uso tal como determina la guía técnica del PORH.
 - c) La ponderación de los resultados globales de los conflictos entre usos, bajo una metodología que integra variables de calidad, cantidad y socio-ambientales.
- Por último, se exponen unas conclusiones generales sobre los cuerpos de agua y el impacto de los conflictos en estos.

➤ Referente teórico de los conflictos por el agua – CpA

Los conflictos por el agua constituyen simultáneamente un problema económico, social, político y ambiental que normalmente involucra conflictos de intereses y de poder. Por ello, para realizar un acercamiento a estos conflictos es importante considerar algunos referentes teóricos que brinda especialmente la Ecología Política.

El objeto de estudio de la Ecología Política es el análisis de las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza, desde el saber, la producción y apropiación de la naturaleza y los procesos de “normalización” de las ideas, discursos, comportamientos y políticas, lo que permite acercarse a los conflictos de distribución desigual, estrategias de apropiación de los recursos ecológicos, los bienes naturales y los servicios ambientales (Leff, 2014, págs. 19-24).

El agua es más que el H₂O, es un híbrido, que captura y encarna procesos que son a la vez materiales, discursivos y simbólicos (Swyngedouw & Bovarnick, 1994, pág. 28). El agua es lo material, pero también es lo biológico y lo cultural, donde se produce un enfoque simultáneo y dialéctico entre la sociedad y la naturaleza, en el que median la cultura, los actores sociales y el contexto.

La intervención sistémica del agua como mecanismo para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de los ecosistemas y los usos actuales y potenciales de dicho recurso, debe considerar la construcción social del agua en los territorios de vida que se encuentran en proceso de ordenamiento, planificación y gestión. De esta manera, se daría la bienvenida a los nuevos desafíos que imponen los crecientes conflictos socio-ambientales en la gestión de los recursos naturales, debido a la confrontación de intereses que hay alrededor de la apropiación del agua.

Este enfoque plantea la necesidad de asumir la cuenca como sistema, a partir de sus elementos y relaciones para, posteriormente, investigar y evaluar factores involucrados dentro de contextos mayores o menores desde diversos escenarios, por ejemplo, los administrativos, económicos, naturales, socioculturales, etc. (López Báez, pág. 5). Hacia este enfoque integral se está perfilando el análisis de conflictos para la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico en el río Chiriaimo, buscando entenderlo como un sistema que integra en el caso específico del agua, las condiciones de calidad y cantidad de este recurso, las características sociales, culturales y económicas del territorio y las condiciones biológicas que se encuentran en cada uno de los cuerpos de agua priorizados.

➤ ¿Cómo se entienden los conflictos por - CpA?

Recientemente, la Cepal emitió un estudio sobre los conflictos por el agua (CpA) en el marco de los contextos latinoamericanos y del Caribe (abril 2015), donde se exponen los principales atributos y tipologías de los conflictos por el agua. De acuerdo a la definición asumida por esta consultoría para la Cepal, los CpA surgen por la colisión de posiciones e intereses en torno a la calidad, cantidad y oportunidad de agua entre los distintos actores, reconociendo que “un conflicto es una clase de relación social cuyos participantes persiguen objetivos incompatibles entre sí. En el caso del agua, esas pretensiones discordantes se vinculan con su aprovechamiento real o potencial” (Martín & Justo, 2015, pág. 13).

Desde el modelo desarrollado en el documento de la Cepal, se consideran seis tipos de conflictos:

➤ Conflicto entre usos: Ocurren cuando el recurso no satisface (cualitativa, cuantitativamente o en el tiempo) las demandas que generan los diferentes destinos del agua en una cuenca (Martín & Justo, 2015, pág. 13).

➤ Conflicto entre usuarios: Este tipo de CpA se centra en las características de los distintos tipos de actores que comparten el recurso hídrico y sus intereses en competencia, siendo especialmente sensibles los vinculados con empresas y grupos vulnerables, usuarios formales e informales, o entre usuarios actuales y potenciales (Cepal, 2015, pág. 17).

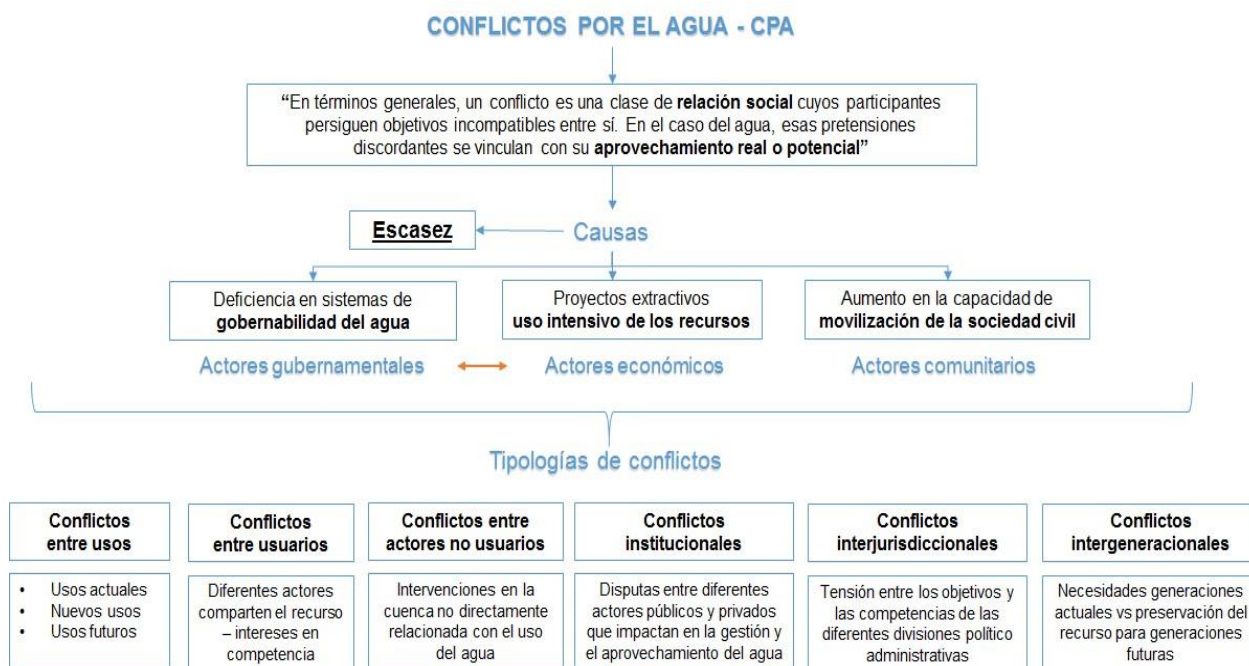
➤ Conflictos con actores no usuarios: Intervenciones en la cuenca no vinculadas directamente al uso del recurso, como por ejemplo la deforestación. Afectan la capacidad natural para captar, retener, depurar, infiltrar, recargar, evacuar, transportar y distribuir el agua en cantidad, calidad y oportunidad (Cepal, 2015, pág. 18).

➤ Conflictos intergeneracionales: Tensión entre las necesidades y preferencias de las generaciones actuales y la preservación del recurso como derecho de las generaciones futuras (Cepal, 2015, pág. 18).

➤ Conflictos interjurisdiccionales: Reflejan la tensión entre los objetivos y competencias de las diferentes divisiones político-administrativas, como falta de correspondencia con los límites físicos o territoriales de la cuenca y los problemas de fragmentación y falta de coordinación (Cepal, 2015, pág. 19).

➤ Conflictos institucionales: Disputas entre los diferentes actores públicos y privados cuyos ámbitos de gestión impactan en la gestión y aprovechamiento del agua (Cepal, 2015, pág. 22).

Gráfica N° 31 Tipos de conflictos por el agua – Cepal.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.7.1.1 Metodología de análisis de los conflictos por el agua - río Chiriaimo

La metodología de análisis de Conflictos Por el Agua –CpA-, busca integrar lo cualitativo con lo cuantitativo para dar cuenta del nivel de complejidad de los mismos en el territorio de estudio. Tal proceso metodológico se adelantó teniendo en cuenta la clasificación de conflictos por el agua definidos por la Cepal (2015). A partir de estos lineamientos, se desarrolló una metodología de ponderación para definir el impacto de los CpA en el río Chiriaimo.

Si bien la metodología de ponderación de los CpA, permitió tener en consideración las diversas percepciones de los actores inmersos en el proceso del PORH, es importante decir, que los resultados de ponderación numérica fueron complementados con análisis cualitativos para posibilitar el reconocimiento del conflicto de una manera más integral, dando relevancia a los imaginarios y constructos sociales que surgieron durante todo el proceso de intercambio de saberes con las comunidades y actores estratégicos entorno al recurso hídrico. La metodología de ponderación permitió, además, establecer una escala de análisis entre los factores sociales y técnicos de estudio en el proyecto. Este instrumento metodológico se constituyó en un puente de análisis para conectar la naturaleza

cuantitativa y cualitativa de los datos de estudio, logrando una visión holística de la cuenca y sus conflictos.

➤ Caracterización cualitativa del CpA

A partir de los resultados del diagnóstico, específicamente de las actividades de cartografía social, reconocimiento del territorio, revisión de fuentes secundarias y consulta con actores claves, se analizó la información para definir las situaciones que se configuran como CpA en los cuerpos de agua priorizados. Los conflictos encontrados se caracterizaron según su tipología, actores involucrados, y la descripción de los factores que configuran el conflicto.

➤ Análisis cuantitativo para ponderación de conflictos

Para determinar los niveles de impacto de los CpA identificados en la caracterización cualitativa, se plantea un método adaptado de factores ponderados, el cual presenta un análisis cuantitativo en el que se analizan los distintos CpA identificados.

A continuación se describen los pasos definidos para el análisis:

- a) En primer lugar se plantea una relación de factores relevantes en torno a las tipologías de conflictos para la cuenca, específicamente entre usos y usuarios, no usuarios, intergeneracional e instituciones, que fueron los mayoritariamente encontrados. Estos factores permiten el establecimiento de un criterio para calificar los distintos CpA a la luz de las tipologías mencionadas.
- b) En segundo lugar se asigna un peso a cada uno de los factores diseñados en el punto anterior, esto según su importancia relativa.
- c) Se asigna un valor de 1 a 5 a cada uno de los CpA en estudio, esto en relación a los factores de medición de las tipologías planteados en el punto uno. En la Tabla N° 111 se muestran los criterios de asignación para cada valoración:
- d) En cuarto lugar se multiplica la puntuación asignada a cada CpA según los pesos relativos que se asignaron a cada uno de los factores de medición de las tipologías.
- e) En quinto lugar se suman todos los datos obtenidos en la calificación ponderada, respecto a cada CpA.
- f) Finalmente, se suman los totales obtenidos en la ponderación para cada CpA por cuerpo de agua priorizado y se calcula una media aritmética, este valor se ubica en los rangos que describe la Tabla N° 110.

Tabla N° 110 Ponderación de los CpA.

Ponderación General	Impacto Muy Bajo	Impacto Bajo	Impacto Moderado	Impacto Alto	Impacto Muy Alto
Rango	0 a	>1 – 2	>2 - 3	>3 – 4	>4
Característica	Los conflictos son latentes, las problemáticas tienen un nivel de incidencia que no alcanza a desencadenar en afectaciones graves al agua y dinámicas de los actores involucrados.	Los conflictos son manifiestos y deben comenzar a abordarse para mitigar futuros riesgos.	Los conflictos están teniendo repercusiones importantes en el agua pero pueden ser intervenidos a través de estrategias de corrección.	Se deben tomar acciones urgentes para el manejo y solución de los conflictos, sino se tratan urgentemente puede desatarse una crisis de alto impacto.	Los conflictos han llegado a su punto de mayor intensidad en cuanto a la afectación del agua y al deterioro del tejido social en el territorio.

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

De esta manera, se calcula el impacto global que están generando los CpA para cada uno de los cuerpos de agua en ordenamiento por el PORH. Para desarrollar la metodología se definieron algunos criterios cualitativos que permitieran establecer la cada condición, como se presenta en la Tabla N° 111

Tabla N° 111. Criterios de ponderación para análisis de CpA.

Criterio de ponderación	El CpA tiene incidencia nula respecto a la tipología del conflicto analizado.	El CpA tiene poca incidencia respecto a la tipología del conflicto analizado.	El CpA tiene incidencia moderadamente alta respecto a la tipología del conflicto analizado.	El CpA tiene alta incidencia respecto a la tipología del conflicto analizado.	El CpA tiene muy alta incidencia respecto a la tipología del conflicto analizado.
Rango	1	2	3	4	5
Afectaciones a los usos del agua establecidos en el Decreto 1076 de 2015	Los usos existentes del agua en el tramo no se restringen entre si	Cuatro o más usos del agua están restringiendo el resto de usos permitidos	Tres usos del agua están restringiendo sobre el resto de usos permitidos	Dos usos del agua están restringiendo sobre el resto de usos permitidos	Un solo uso del agua restringe los demás usos permitidos
Afectaciones al agua por parte de actores no usuarios (No hacen uso directo del agua en	No hay afectaciones al agua por parte de actores no usuarios	Existe un actor no usuario que genera afectaciones al agua	Existen dos actores no usuarios que genera afectaciones al agua	Existen tres actores no usuarios que genera afectaciones al agua	Existen cuatro o más actores no usuarios que genera afectaciones al agua
Control por parte de la autoridad ambiental	Los asistentes a los encuentros manifiestan que hay alto control por parte de la autoridad ambiental	Los asistentes a los encuentros manifiestan que hay suficiente control por parte de la autoridad ambiental	Los asistentes a los encuentros manifiestan que la autoridad ambiental ejerce control insuficiente	Los asistentes a los encuentros manifiestan que la autoridad ambiental ejerce control deficiente	Los asistentes a los encuentros manifiestan que la autoridad ambiental no ejerce ningún tipo de control

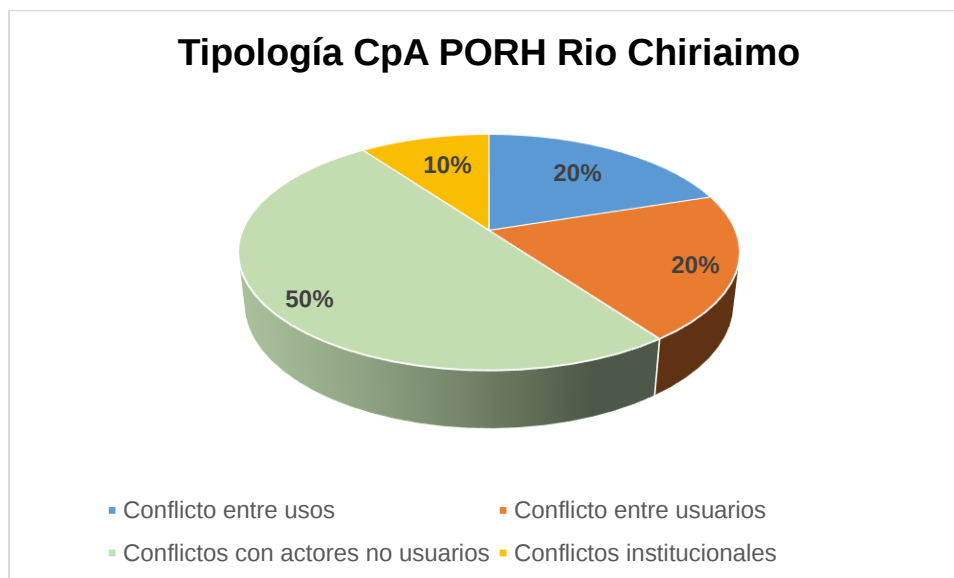
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.7.1.2 Identificación de los Conflictos Por el Agua

El reconocimiento de los usos actuales del agua en el rio Chiriaoimo y la cartografía social realizada con los actores del Corregimiento de San José de Oriente, permitieron determinar los Conflictos por Agua –CpA- que se presentan.

De acuerdo a esto, se identificaron 10 conflictos, que en su mayoría corresponde a conflictos entre actores no usuarios (50%), seguido por conflictos entre usos (20%), conflictos institucionales (10%) y conflictos entre usuario (20%).

Grafica N° 32 Tipología CpA PORH del rio Chiriaimo.



Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019.

2.7.1.3 Conflictos entre usos

Este tipo de conflictos se presenta cuando dos o más usos del agua se afectan entre sí. Para rio Chiriaimo esta tipología de CpA representa un 20% del total de los conflictos identificados y se genera principalmente en torno al uso para consumo humano o doméstico y agrícola.

En el rio Chiriaimo se encuentran dos situaciones específicas que se configuran como conflictos relacionados con el uso del agua:

- El uso doméstico se ve afectado por el uso y/o actividades agropecuarias: El agua para uso doméstico se ve afectada directamente por el impacto actividades agrícolas (siembra de hortalizas, guineo, yuca, café, caña entre otros) en el rio Chiriaimo (tramos 1 y 2), donde se manifiestan afectaciones en captaciones, conducciones y contaminación por descargas de agentes contaminantes al rio Chiriaimo.
- Afectación a recurso hídrico por uso pecuario: los grandes, medianos y pequeños terrateniente se disputan un gran porcentaje del caudal del rio Chiriaimo con el propósito de regar sus pastizales y abrevaderos de ganado y una pequeña fracción para uso doméstico.

2.7.1.4 Conflictos entre actores no usuarios

Corresponde al 50% del total de los conflictos por el CpA identificados en el río Chiriaimo. Estos conflictos se refieren a actores que no hacen uso directo del recurso hídrico, pero lo afectan de múltiples maneras. En el río Chiriaimo los actores no usuarios son los que generan mayores afectaciones al recurso por dos causas principales:

- Afectación al recurso hídrico por manejo inadecuado de residuos sólidos: esta es la problemática que según los participantes del encuentro de formulación del PORH requiere mayor atención, dado que se presenta en el río Chiriaimo por residuos generados por la producción de café (bolsas de almácigo y/o chapolas de café) y por el manejo inadecuado de residuos sólidos en las comunidades que realizan prácticas como la quema de dichos residuos. Esta situación se manifiesta de forma generalizada en el río Chiriaimo, específicamente en (tramos 2, 3 y 4).
- Afectación al recurso hídrico por vertimientos: Este CpA afecta particularmente el río Chiriaimo en (tramo 1, 2, 3) donde se presentan vertimientos de aguas residuales domésticas, matadero y por la escorrentía que proviene del casco urbano de San José de Oriente.

2.7.1.5 Conflictos Institucionales

Los Conflictos Institucionales en el río Chiriaimo se presentan por la percepción que tienen los habitantes del territorio sobre la responsabilidad y el rol activo que deben asumir actores municipales, como la alcaldía y las Empresas Públicas del Municipio de La Paz, en lo relacionado con problemáticas ambientales como las generadas por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San José de Oriente, Betania y del matadero de estos mismos centros poblados, así como las captaciones de los Municipio de San Diego y La Paz. Los conflictos por este concepto representan el 10% del valor total del CpA.

2.7.1.6 Conflictos entre usuarios

Corresponde al 20% del total de los conflictos por el CpA identificados en el río Chiriaimo. Estos conflictos se refieren a actores que hacen uso directo del recurso hídrico, pero lo afectan de múltiples maneras. En el río Chiriaimo los actores usuarios son los que consumen la mayor cantidad de agua del total del caudal que la fuente transporta por dos causas principales:

- Abastecimiento de 2 centros poblados, 2 municipios con poblaciones considerables y donde se encontró baja implementación de medidas de ahorro y uso eficiente del agua.

➤ Riego de grandes extensiones de pastos y abrevadero de ganado, lo cual representa la actividad de mayor vocación en la zona de estudio y una de las que más agua demanda.

Tabla N° 112 Conflictos por uso del agua

Cuerpo de agua	CpA	Descripción del CpA	Actores Involucrados	Tipología del Conflicto	Impacto CpA
TRAMO 1	Afectado por uso doméstico, agrícolas, actividades agropecuarias, vertimientos líquidos y sólidos.	Cultivos de hortalizas, café, cria de cerdos y ganado.	Campesinos, agricultores, veredas.	Conflictos entre usos	2.5
TRAMO 2	Afectación al recurso hídrico por vertimientos líquidos y sólidos.	Vertimientos de las PTAR de San José de Oriente, Betania y matadero, escorrentía canalizada del casco urbano San José de Oriente y residuos sólidos de las casas ubicadas en la margen derecha del río Chiriaimo.	Centros poblados, terratenientes, agricultores, campesinos.	Afectación al recurso hídrico por vertimientos	3.5
TRAMO 3	Afectación al recurso hídrico por captaciones legales e ilegales para uso pecuario, agrícola y doméstico.	Derivaciones legales con caudal por encima del concesionado, derivaciones ilegales, contaminación.	Terratenientes, campesinos, municipios de La Paz y San Diego.	Conflictos Institucionales	3.8
TRAMO 4	Afectación al recurso hídrico por captaciones legales e ilegales para uso pecuario,	Derivaciones legales con caudal por encima del concesionado, derivaciones ilegales, contaminación.	Terratenientes, campesinos.	Conflictos entre actores no usuarios	3.8

	agrícola y doméstico.				
TRAMO 5	Afectación al recurso hídrico por captaciones legales e ilegales para uso pecuario, agrícola y doméstico.	Derivaciones legales con caudal por encima del concesionado, derivaciones ilegales, contaminación.	Terratenientes, campesinos.	Conflictos entre actores no usuarios	3.8

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.8 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGAS Y DESCARGAS DE ACUIFEROS

Las zonas de recarga o áreas de recargas, hacen referencia a la parte de la cuenca hidrográfica, en la cual las condiciones meteorológicas, topografías y geológicas, permiten la filtración del agua en el suelo, llegando a recargar los acuíferos. Las fuentes de recargas son muchas las aguas de lluvia, las corrientes superficiales, las unidades hidrogeológicas adyacente al acuífero o el resultado de procesos antrópicos desarrollados en la zona, suministran el agua a los acuíferos.

Las zonas de recarga y descarga son identificadas mediante el reconocimiento de las unidades hidrogeológicas distribuidas en la zona, las formaciones geológicas, las características y los patrones estructurales que condiciona el área. Es importante realizar un análisis textural del suelo, las características y condiciones hidráulicas del suelo, la cobertura vegetal, la piezometría, condiciones hidrometeorológicas y composición del agua. Cabe resaltar que la recarga de los acuíferos está determinada principalmente por los factores texturales del suelo y las pendientes de relieve, principalmente aquellas que son suaves o moderadas cuyo grado de inclinación oscila entre 0 – 50°, la medición del nivel piezométrico, el cual es determinado por un inventario de manantiales y la medición de la capa freática en las captaciones de agua subterránea de la zona.

2.8.1 Factores que interviene en la delimitación de zona de recarga.

Los factores que intervienen en la identificación de las zonas de recarga de un acuífero están representados por el mapa geológico del departamento del Cesar escala 1:100.000, el estudio de suelo del IGAC, el mapa de pendientes generado de la zona de estudio, el mapa de coberturas del Corine Land Cover y el mapa de potencial de acuífero, además el modelo de elevación digital del terreno, las isoyetas e isotermas de las zonas de estudio.

Posteriormente analizada la información se procede a realizar una clasificación de las características o componentes de dichos factores, teniendo como referencia la aptitud para favorecer, en menor o mayor medida la recarga del acuífero. Esta clasificación se realiza de 0 a 2, siendo 0 las zonas de bajas recarga, 1 las zonas de recarga media y 2 las zonas de mayor recarga del acuífero. A continuación, se presenta el desarrollo seguido de cada factor con su clasificación correspondiente, cuyo objetivo es obtener una correlación preliminar de las principales zonas de recarga mediante un algebra de mapas o un análisis jerárquico ponderado.

2.8.1.1 Componente altitudinal e hidroclimatológicas

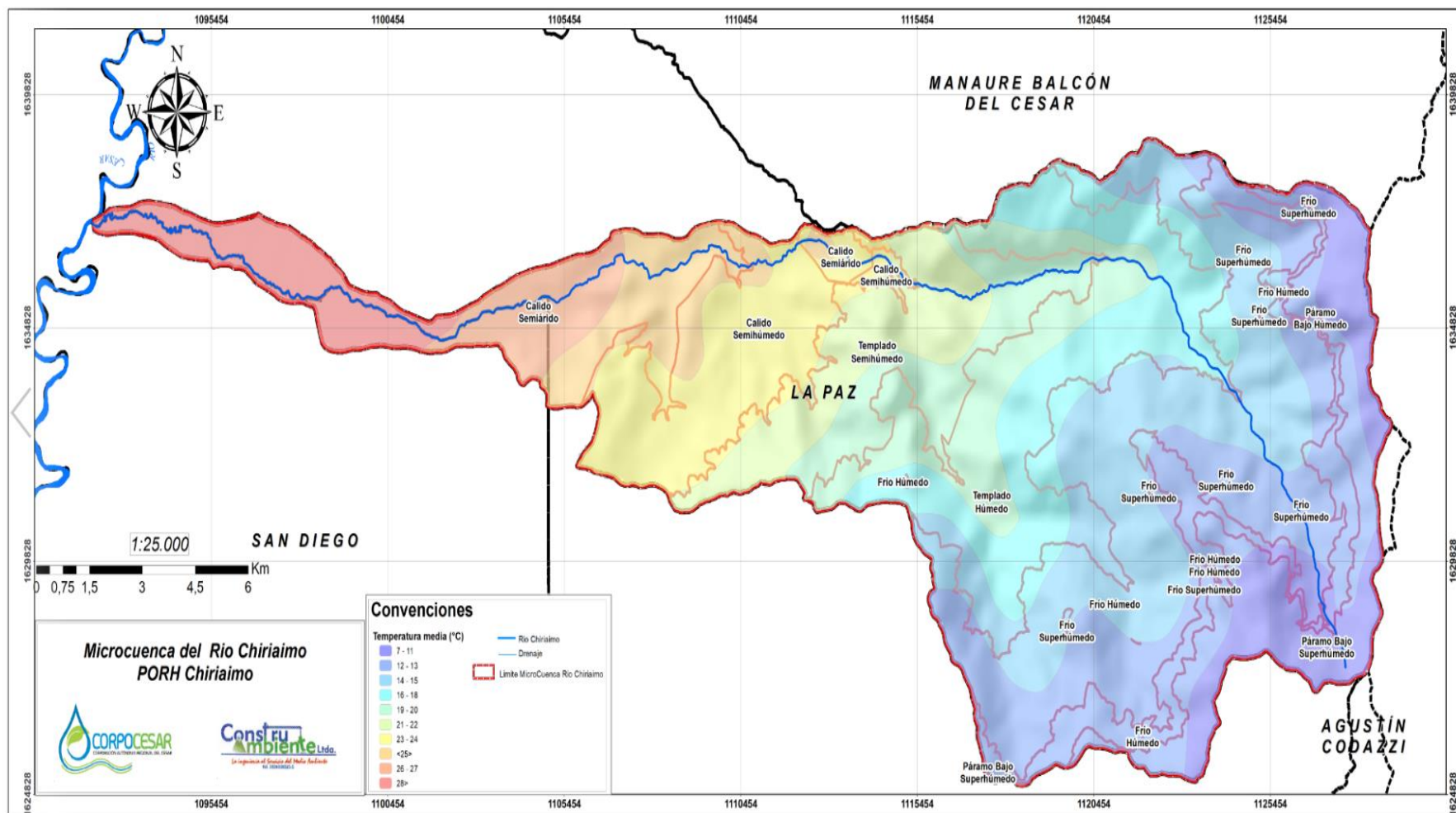
En la figura 1 se presenta el modelo de elevación digital de terreno de la cuenca Chiriaimo. En este se observa como la distribución de la cuenca alcanza su zona más alta (3594 m.s.n.m) hacia el este del municipio de San diego, donde nacen los principales drenajes, y comienza su descenso hasta el cierre de la cuenca en la cota más baja (110 m.s.n.m) antes de su desembocadura en el rio Cesar. Esta distribución altitudinal se relaciona con las condiciones hidroclimatológicas, como se observa en las figuras 2 y 3, caracterizando esta zona por presentar en términos generales un clima que varía hacia las zonas más altas de paramo y las zonas bajas un clima cálido, con temperaturas que oscilan entre los 7°C y los 28°C, y precipitaciones promedio anual con variación entre los 2305 mm/Año en las zonas altas y los 1286mm/Año en las zonas más bajas.

Según la configuración de la cuenca, en las zonas altas donde la temperatura tiende hacer menor y las precipitación tienden a tomar un mayor rango, posiblemente se tienen coberturas vegetales libre de procesos antrópicos, por ende es donde queda mayor cantidad de agua disponible para el flujo de infiltración y escorrentía, comenzando así a conformar los principales cauces que conforman la cuenca Chiriaimo, favoreciendo esto al tránsito del agua de forma superficial y subsuperficial, escurriendo hacia las zonas más baja, donde se podría presentar mayor proximidad al agua subterránea, lo cual podrá analizarse con mayor detalle a partir de la geología de la zona.



FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

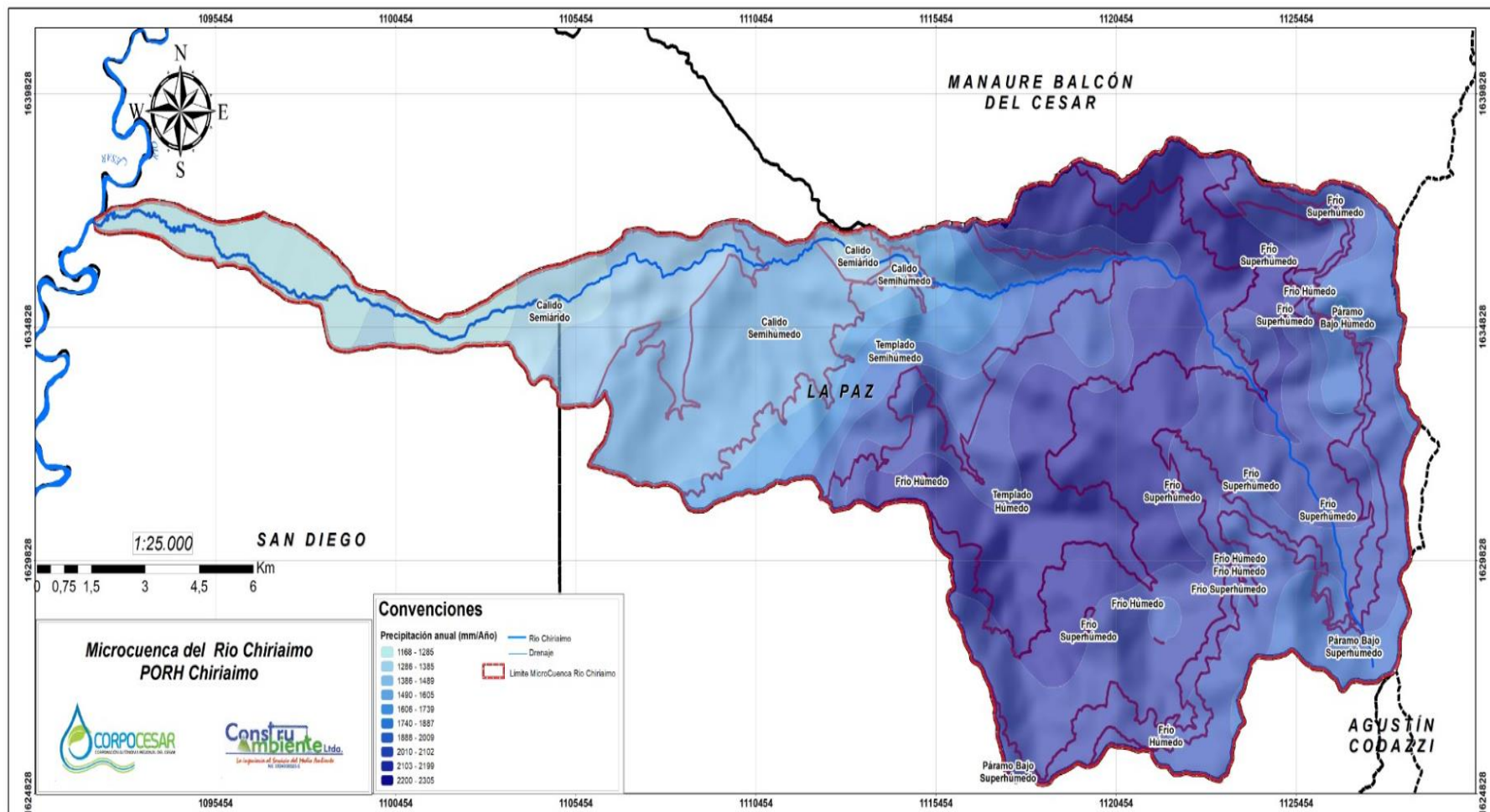
Mapa N° 9. Condiciones climatológicas (Temperatura media) Cuenca Chiraiimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 10. Condiciones climatológicas (Precipitación anual) Cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.1.2 Componente de geología

Para el desarrollo de este componente se cuenta con información secundaria proveniente de mapa geológico del Cesar a escala 1:100.000 para toda la cuenca del río Chiriaimo, la cual se encuentra sobre una secuencia de rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias, en parte cubierto por depósitos cuaternarios correspondiente a depósitos aluviales.

En el Mapa N° 11, en la cuenca Chiriaimo se observa una formación que podría, por su importancia hidrogeológica favorecer el almacenamiento de aguas subterráneas; en las zonas circundante al Corregimiento de San José de Oriente y hacia las zonas de menor altitud corresponden a depósitos aluviales, estas son zonas propicias para presentarse la recarga directa, de igual forma se destacan el Grupo Cogollo (K1c), la Formación Río negro (K1r), Grupo Cachiri (Pzc) y las Metasedimentitas de Manaure (Pzm), en los cuales se podría ver favorecido el proceso de recarga indirecta, esto debido a su composición y textura, puestos que se caracterizan por tener presencia de material granular como gravas, conglomerados y arenas, otros como el grupo cogollo presentan un alto grado de fracturamiento y karstificación, con composición de gruesas intercalaciones de calizas, calizas arenosas y delgadas limolitas calcáreas, los cuales propician favorablemente las tasas de infiltración y drenajes profundos. El resto de las unidades que afloran en la cuenca Chiriaimo corresponde a la Formación Guatapurí (Tg), Formación la Quinta (Jq) y las Espilitas triásicas (Ts), son asociadas con un potencial de acuífero bajo, esto debido a su composición de paquetes de rocas compactas como son basaltos, areniscas de grano medio y fino, lo que dificulta la tasa de infiltración en estas formaciones geológicas. Esta información es clasificada asignando una valoración de 0 a 2 según la aptitud de cada unidad geológica para propiciar la recarga siendo 0 baja, 1 media y 2 alta como se puede observar en la Tabla N° 113, donde se resume los resultados logrados en esta clasificación, proyectada en el Mapa N° 12.

Es importante mencionar que las estructuras geológicas como las fallas también resultan determinantes en los procesos de recarga, razón por la cual estos se encuentran dentro del mapa geológico ya que estas zonas pueden favorecer la recarga de las unidades subyacentes.

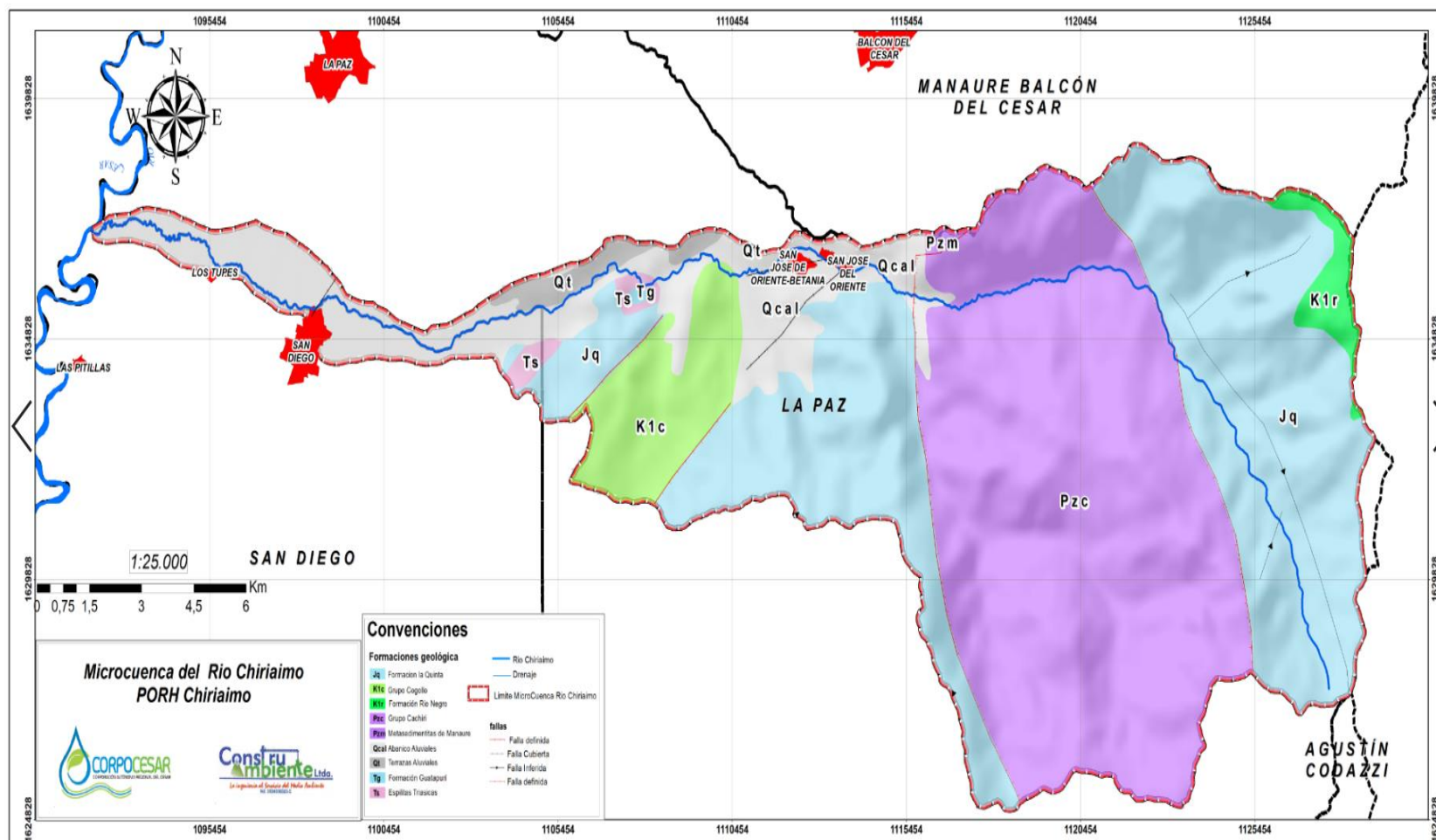
Tabla N° 113. Clasificación del componente geológico.

Unidad Geológica	Clasificación según su aptitud de recarga	Unidad Geológica	Clasificación según su aptitud de recarga
Qcal	2	Pzc	1
Qlla	2	Ts	0
K1r	1	Tg	0
K1c	1	Jq	0
Pzm	1		

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

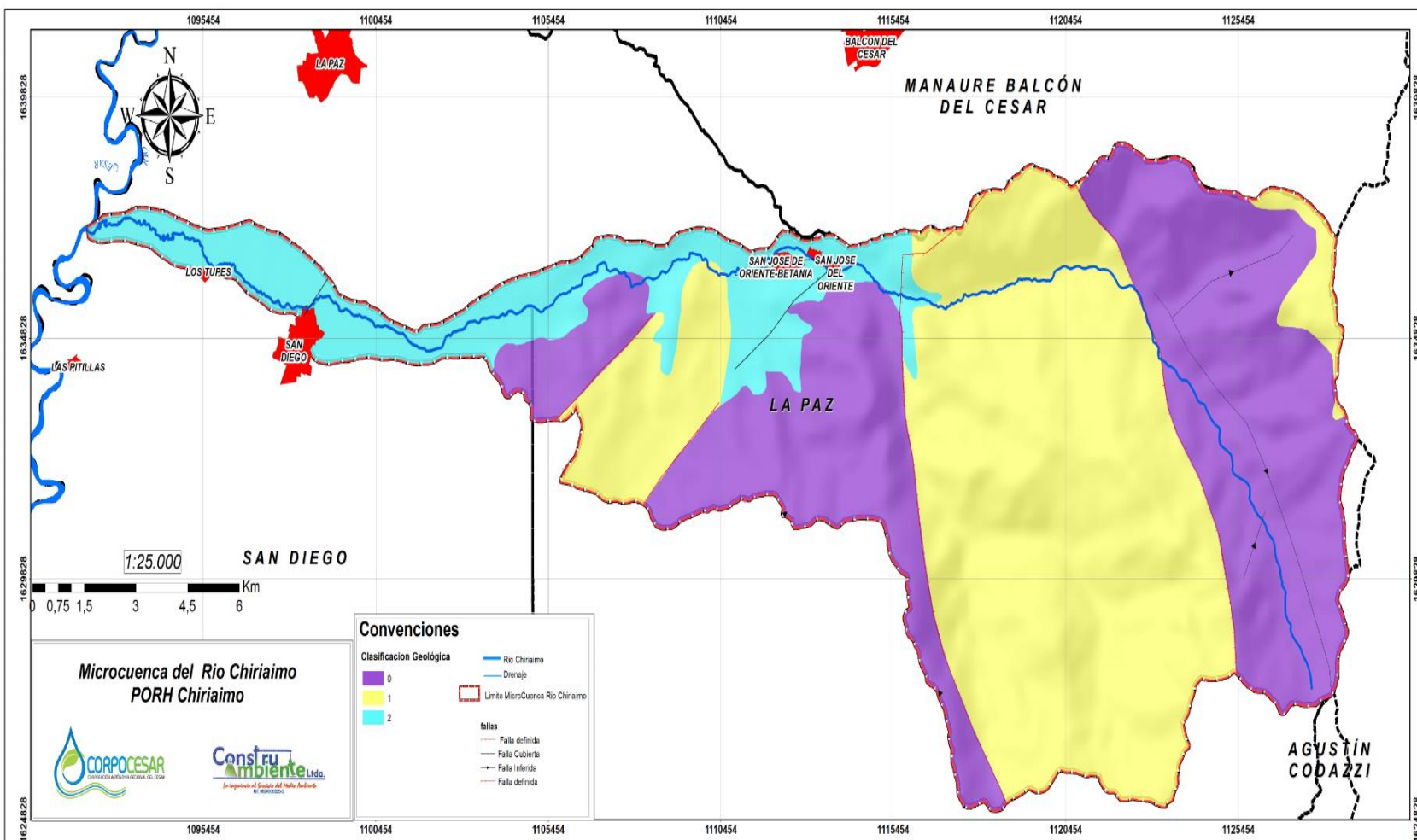
Mapa N° 11. Mapa geológico para la Cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 12. Mapa geológico clasificado según su aptitud para recarga.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.8.1.3 Componente de suelo

El Mapa N° 13 corresponde al mapa de suelos de la cuenca escala 1:100.000, tomado del mapa de suelos del territorio colombiano en el departamento de Cesar. En él se puede observar que los suelos cuyas características son definidas como sedimentos aluviales o depósitos coluvio aluviales, bloques y cantos de matriz arcillosa, y aquellos sedimentos coluvio aluviales mezclado a lo largo y paralelo al cauce del río Chiriaimo, superficiales y bien drenados, estas características son zonas con mayor aptitud para zonas de recargas. Adicionalmente se presenta otras características físicas que bien podrían implicar en la recarga del sistema de acuíferos que son suelos compuesto de áreas, limos y arcillas aluviales, bien drenados y otros suelos que son comprendidos por rocas tanto sedimentarias, ígneas, como metamórfica.

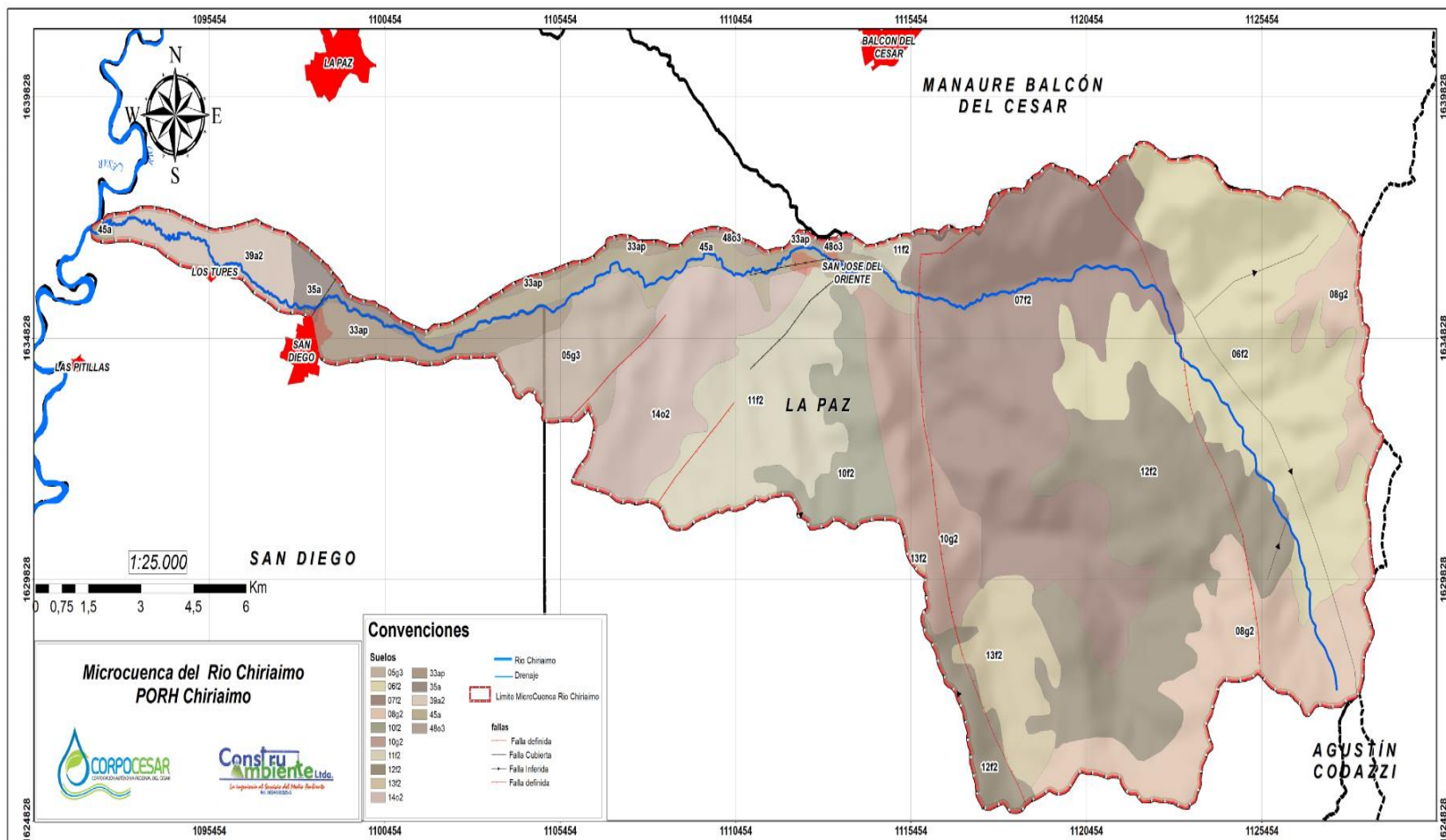
Esta información fue clasificada asignando una valoración de 0 a 2 según la aptitud de cada formación de suelo para propiciar recarga, siendo 0 baja, 1 media y 2 alta, la Tabla N° 114 y el Mapa N° 14 resumen los resultados logrados en esta clasificación individual.

Tabla N° 114. Clasificación del componente del suelo según su aptitud de recarga.

Formación del suelo	Clasificación según su aptitud de recarga	Formación del suelo	Clasificación según su aptitud de recarga
48o3	2	33ap	2
33ap	2	45a	2
11f2	1	12f2	1
07f2	1	13f2	1
08g2	1	10g2	1
13f2	1	33ap	2
12f2	1	11f2	0
45a	2	05g3	0
39a2	2	14o2	1
35a	2	10f2	0
48o3	2	06f2	1
33ap	2	08g2	1

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

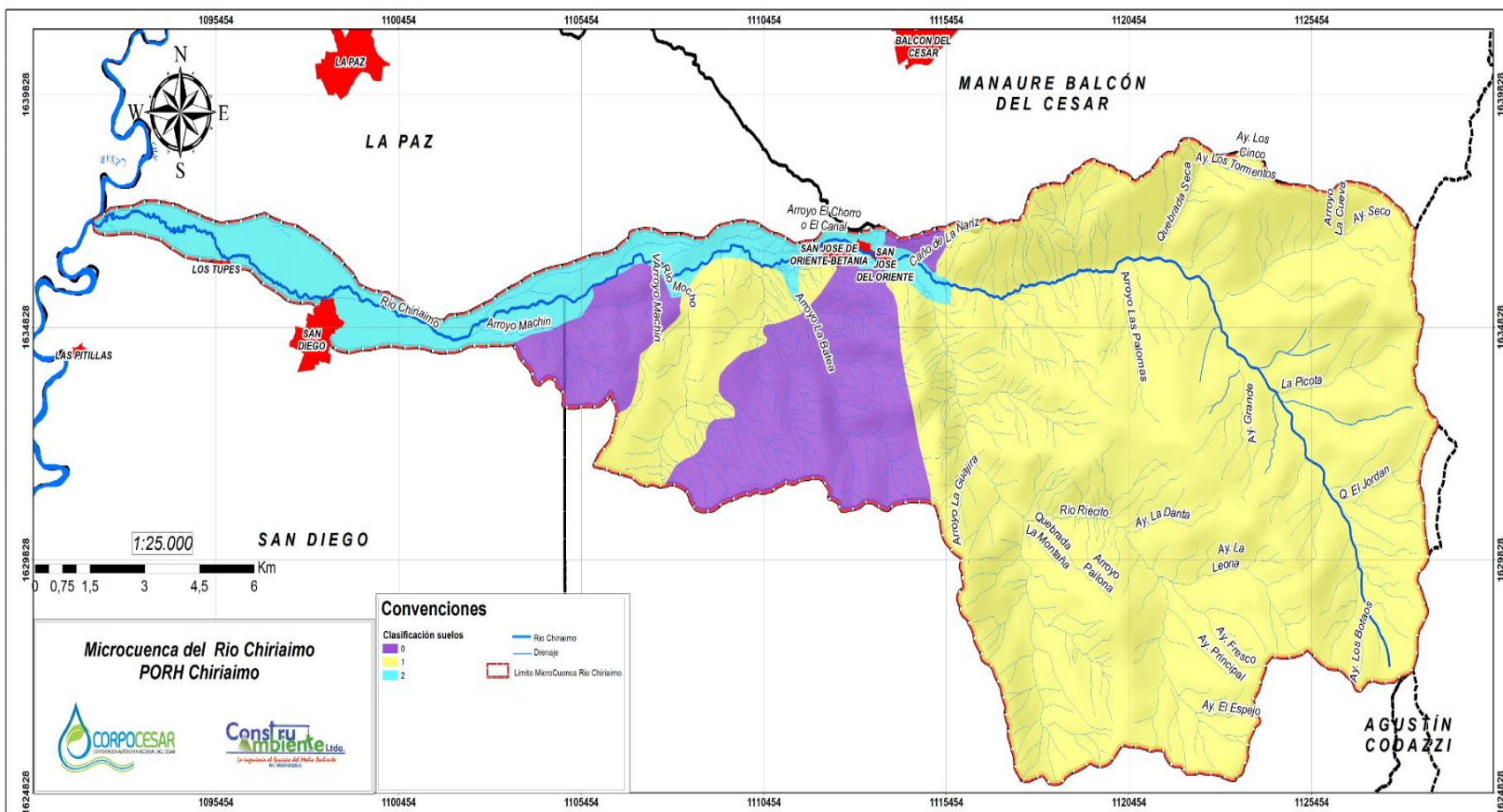
Mapa N° 13. Suelos de la cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 14. Clasificación del componente de suelo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.1.4 Potencial acuífero

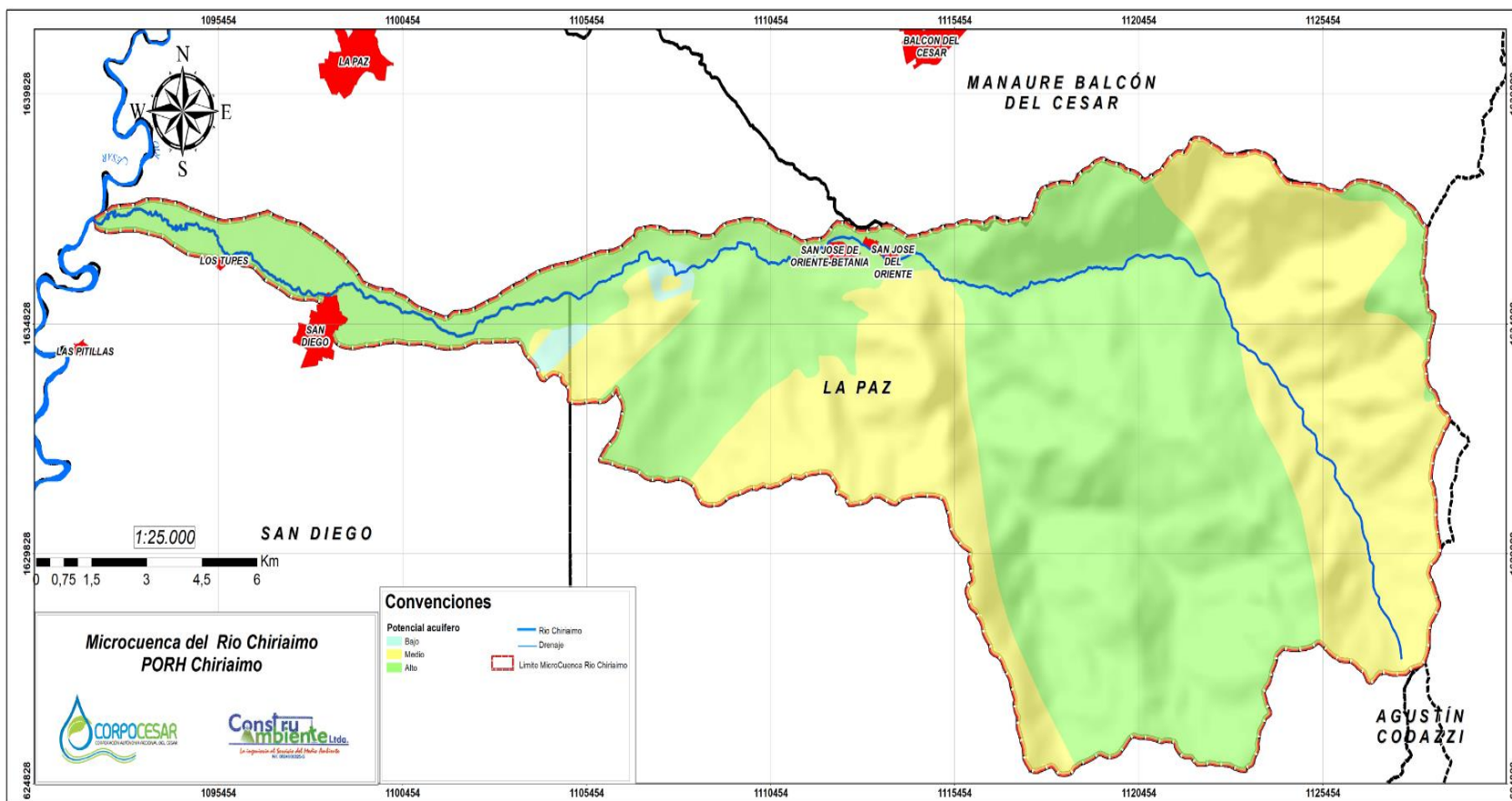
El potencial acuífero es un indicativo de donde podrían encontrarse las unidades acuíferas a las que hace referencia la recarga, estas ligadas a depósitos cuaternarios y aquellas unidades de rocas que por su características texturales y físicas son necesarias para favorecer zonas de recarga. Para la cuenca del río Chiriao se observa que el potencial acuífero más alto se encuentra asociado a los depósitos aluviales y las unidades de roca sedimentarias asociadas a la formación Rio negro, los grupos Cachiri y Cogollo y la Metasedimentitas de Manaure Mapa N° 15. El potencial de acuífero fue clasificado de 0 a 2, siendo 0 bajo, 1 medio y 2 muy alto, los resultados son proyectados en la Tabla N° 115 y el Mapa N° 16, los cuales serán conjugados con la calificación de los demás parámetros considerados para la obtención de un ráster final y la delimitación de zonas de recarga.

Tabla N° 115. Clasificación componente potencial de acuífero.

Potencial acuífero	Clasificación según su aptitud de recarga
Bajo	0
Medio	1
Alto	2

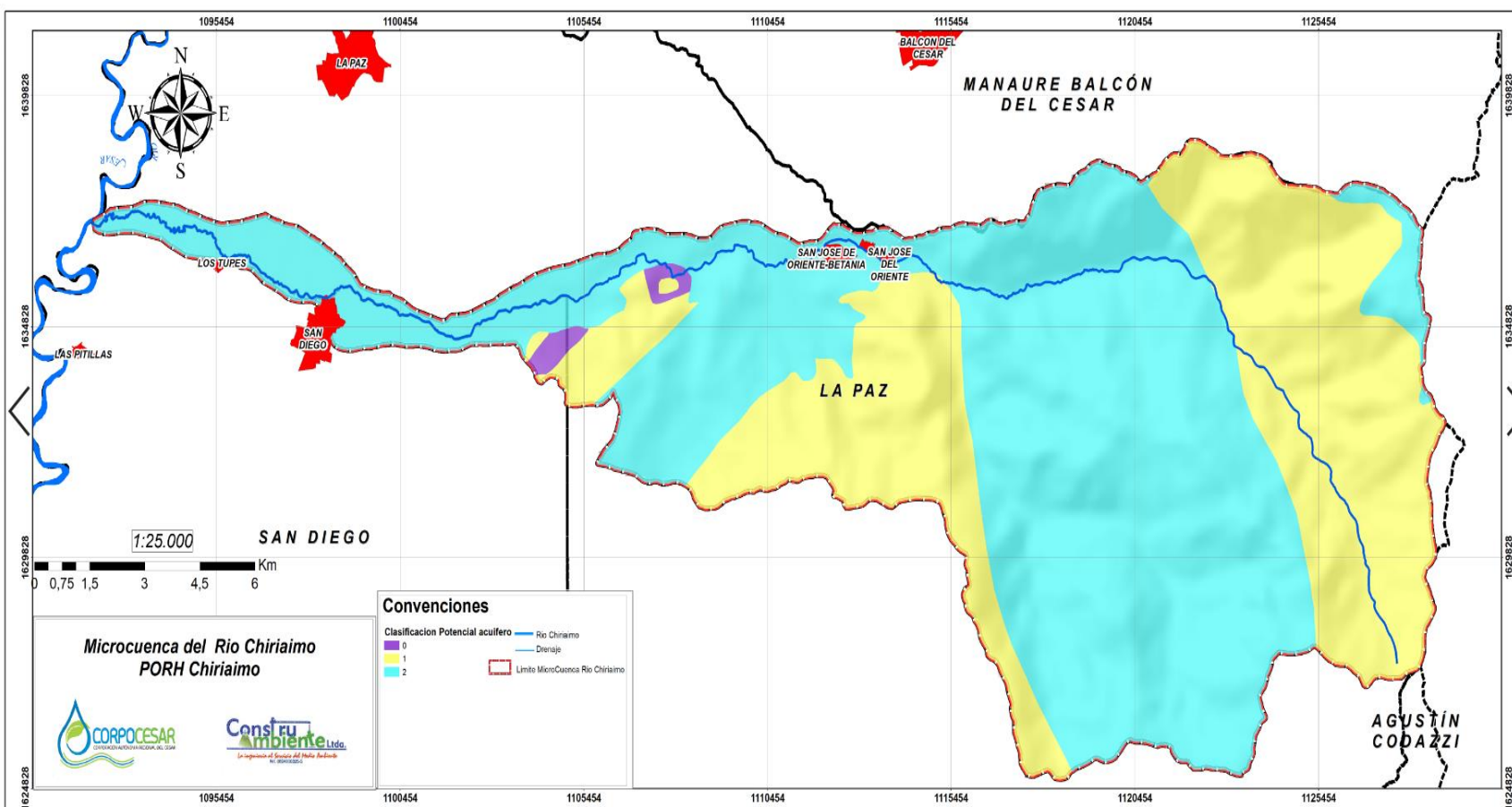
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Mapa N° 15. Potencial de acuífero de la cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Mapa N° 16. Clasificación potencial de acuífero de la cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construyeambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.1.5 Pendientes y topografía

El Mapa N° 17, da un estimado de las zonas donde se presentaría un almacenamiento temporal de agua, dando origen a la infiltración y la recarga teniendo en cuenta las características anteriormente mencionadas. De manera general las zonas de recargas son favorecidas en rango de pendientes que varían entre el 0 y el 25 % ya que en estas zonas la escorrentía superficial y subsuperficial suele ser mínima, mientras que en los rangos que van desde el 25 al 50% las zonas de recargas suelen presentarse en menor proporción y para las pendientes mayores al 50% la recarga se ve desfavorecida por que la escorrentía es mayor. La cuenca Chiriaimo presenta una topografía con rangos que varían entre el 0 y el 100.3 %, la cual fue reclasificado a los porcentajes anteriormente mencionados (Mapa N° 18), dando como resultada que la cuenca posee en su mayoría zonas donde se ve favorecida las zonas de recargas.

Las pendientes obtenidas fueron clasificadas de igual manera como los componentes anteriores de 0 a 2 en función a la aptitud para recarga de agua subterránea, como se puede observar en la Tabla N° 116.

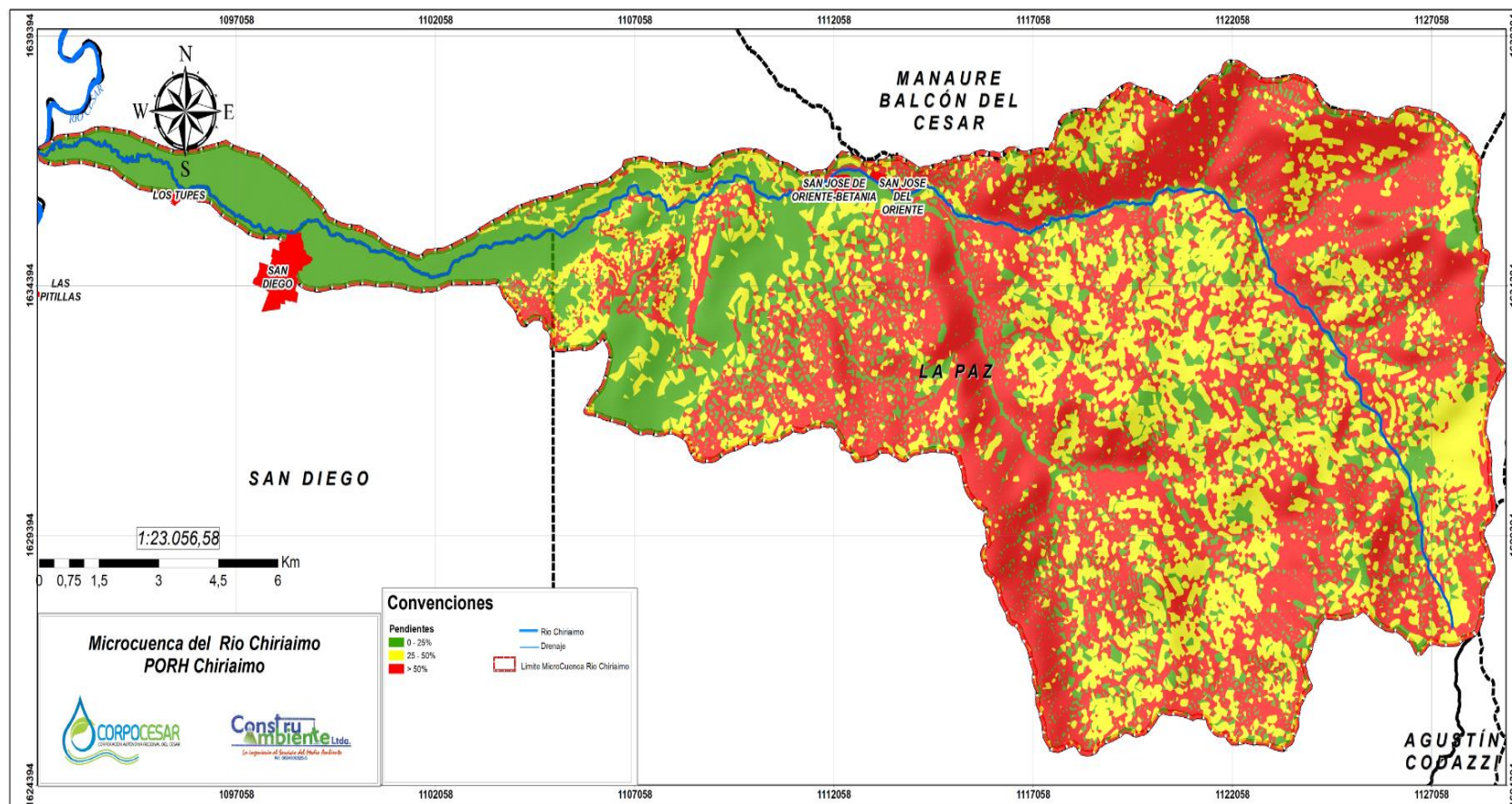
Tabla N° 116. Clasificación para el componente de pendiente y topografía.

<i>Pendientes</i>	Clasificación según su aptitud de recarga
0 - 25 %	2
25 - 50 %	1
> 50 %	0

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

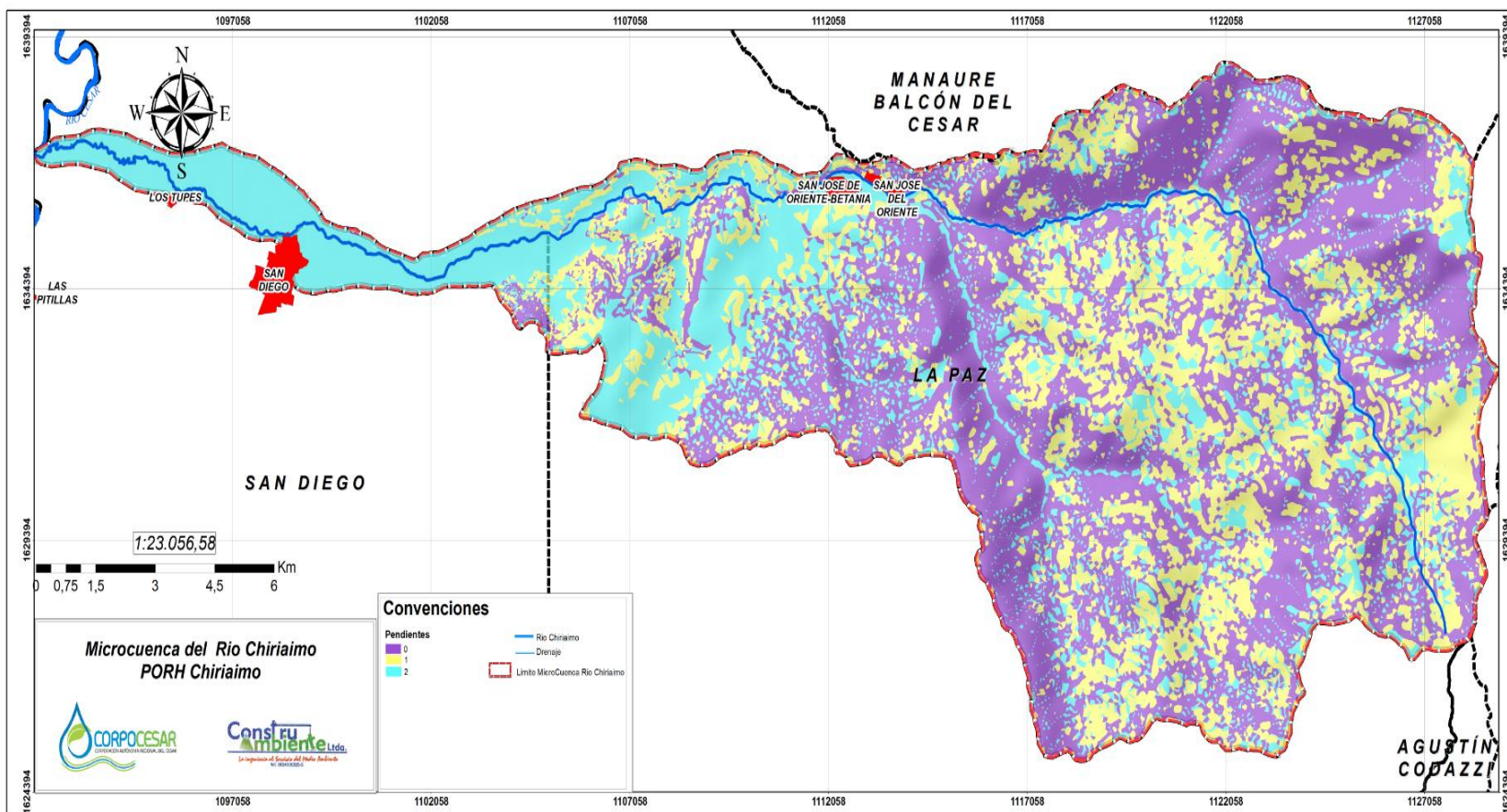
FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 17. Mapa de pendientes de la cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construyeambiente & Corpocesar, 2019.

Mapa N° 18. Clasificación del mapa de pendiente de la cuenca Chiriaiimo.



Fuente: Construyeambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.1.6 Coberturas vegetales

Uno de los factores que más influyen en la infiltración y escorrentía superficial son las coberturas vegetales, por esta razón en el Mapa N° 19 se presenta el mapa de coberturas vegetales, donde se observa que la cuenca Chiriaimo está en gran parte cubierto por coberturas de mosaico de pastos y cultivos, bosques naturales fragmentados y pastos limpios. De igual manera observamos las zonas afectadas por acciones antrópicas como los cascos urbanos del corregimiento de San José de Oriente que se encuentra en la zona central de la cuenca y en la zona más baja parte del casco urbano del municipio de San Diego. Además, el desarrollo económico presentado en la cuenca, tales como lo son la siembra de café, cultivo de maíz, yuca, tomate, ají, plátano y la ganadería, han permitido el crecimiento de asentamientos en las zonas rurales de la cuenca, condicionando en estos suelos las características de infiltración que estos poseen.

La clasificación de los suelos fue realizada de 0 a 3 en función de la tasa de infiltración y drenaje profundo que se registra de acuerdo al aprovechamiento hidrológico generalizado de cada cobertura vegetal, como se puede observar en la Tabla N° 117 y el Mapa N° 20.

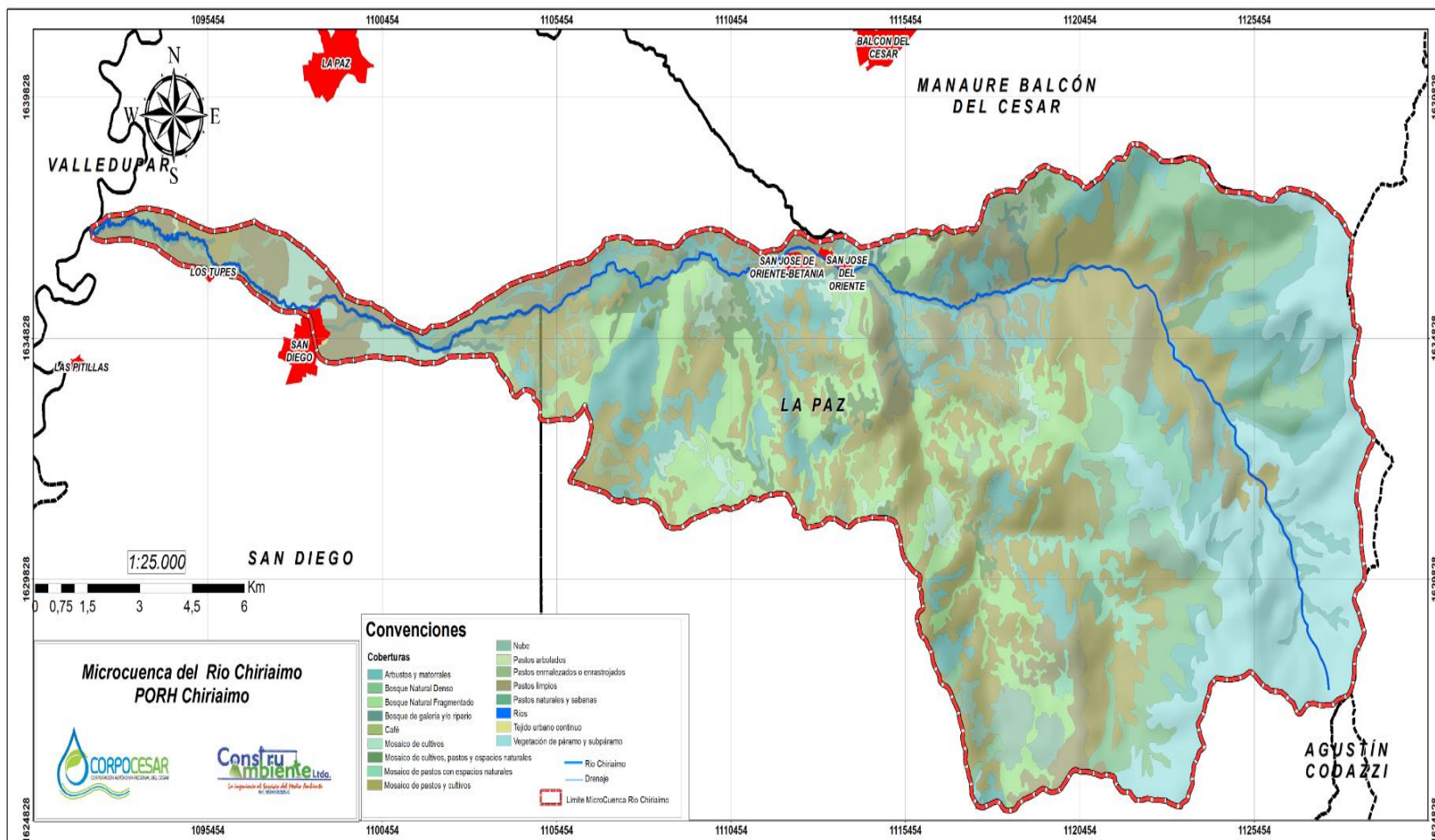
Tabla N° 117. Clasificación del componente de coberturas vegetales según se aptitud de recarga.

Coberturas	Clasificación según su aptitud de recarga
Arbustos y matorrales	3
Boques natural Densos	3
Bosques naturales fragmentado	1
Bosques galería y/o ripario	3
Cultivos de Café	1
Mosaico de cultivos	1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3
Mosaico de pastos con espacios naturales	3
Mosaico de pastos y cultivos	2

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

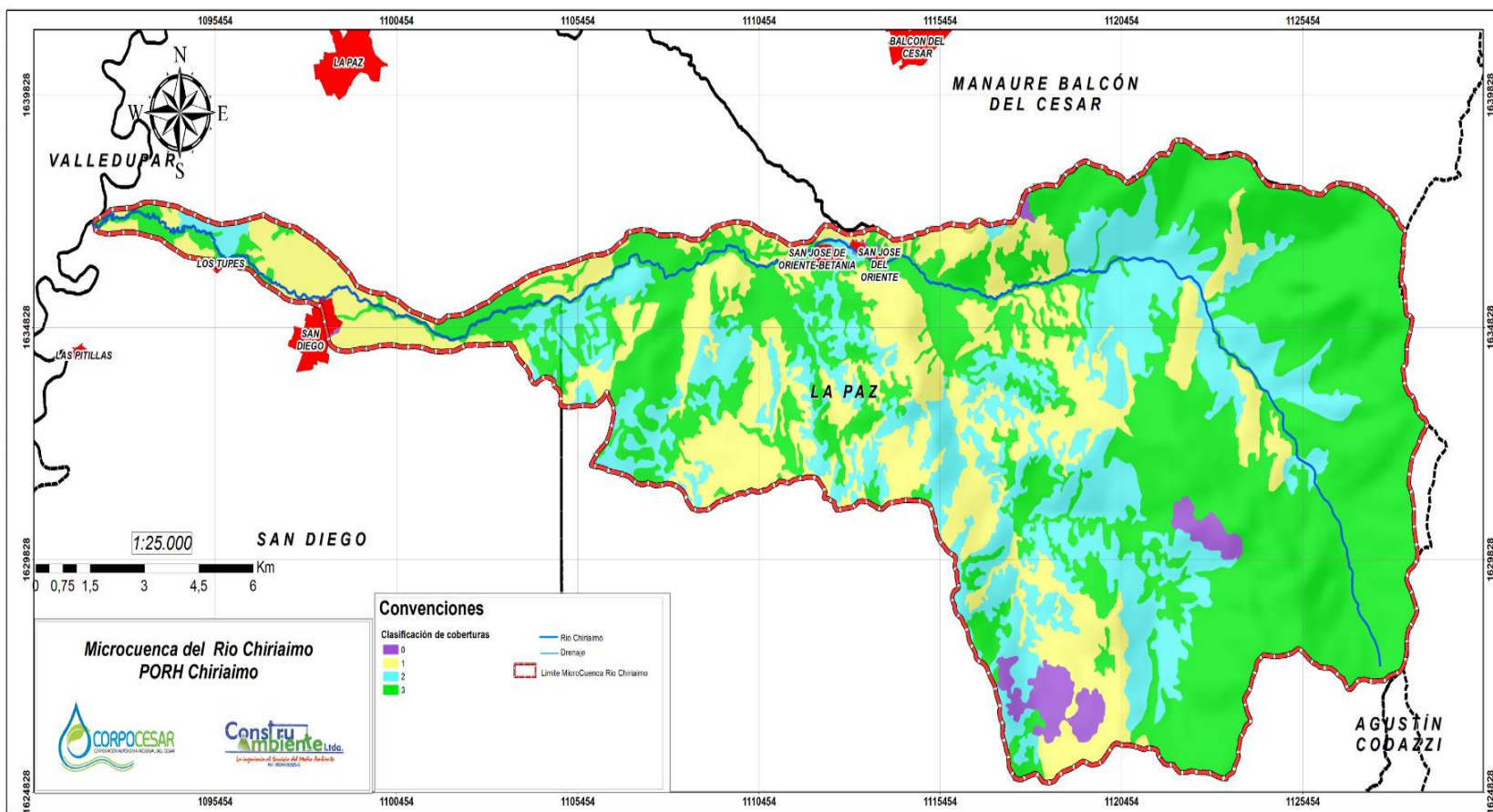
Coberturas	Clasificación según su aptitud de recarga
Nube	0
Pastos arbolados	2
Pastos enmalezados enrastrajados 0	3
Pastos limpios	1
Pastos naturales y sabana	2
Ríos	2
Tejido urbano continuo	0
Vegetación de paramo y subpáramo	3

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.



Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019.

Mapa N° 20. Clasificación del mapa de coberturas vegetales de la cuenca Chiriaimo.



Fuente: Construyeambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.2 Delimitación de las zonas de recarga

El análisis realizado en inciso anterior, donde clasificamos según su aptitud de recargas los componentes que nos permiten o no que en una cuenca se produzcan zonas de recarga. Este análisis fue adaptado a la metodología de análisis jerárquico (Saaty, 2000), en el cual los cinco factores que intervienen en la formación de zonas de recargas, son reclasificados dándole un peso de ponderación en función a la aptitud que pose cada componente en la recarga de un acuífero. Estos componentes se encuentran relacionados a partir de la expresión matemática, por medio la cual son establecidas las zonas de recarga en acuífero.

$$PZR = P*(0.30) + S*(0.27) + G*(0.25) + C*(0.13) + A*(0.05)$$

Donde,

PZR corresponde a las potenciales zonas de recarga

P corresponde a las pendientes del terreno

S corresponde a los Suelos

G corresponde a la geología

C corresponde a las coberturas vegetales y usos del suelo

A corresponde al potencial del acuífero

El resultado final que se obtiene después de la aplicación de la expresión matemática a los componentes, para esta cuenca es una ráster con un rango de valores que oscila entre los 0,13 y los 2,13, el cual se reclasifica entres valores, zonas de recarga indirecta baja, zonas de recarga indirecta media y zonas de recarga directa (Tabla N° 118), a esta reclasificación se le superpone la capa de falla geológicas, debido a como se dijo anteriormente estas son zonas que favorecen a las zonas de recarga de los acuíferos (Mapa N° 21).

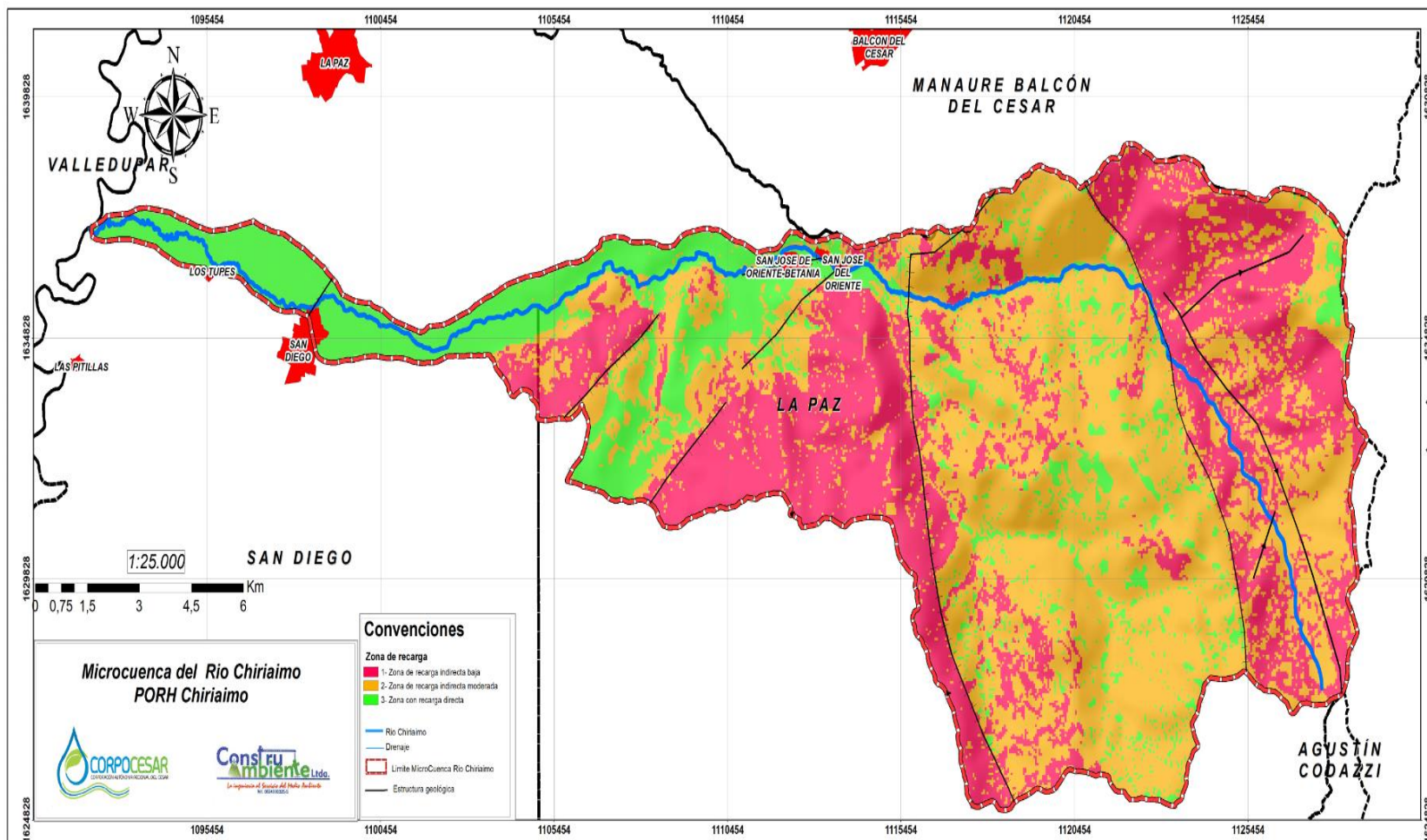
Tabla N° 118. Reclasificación de las zonas de recargas

Rango	Reclasificación de zons de recargas	Descripción
0.13 - 0.8	1	Zonas con recarga indirecta baja
0.8 - 1.5	2	Zonas con recarga indirecta media
1.5 - 2.13	3	Zonas con recarga directa

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

A partir del raster obtenido, se puede concluir que las zonas que mayor en favorecida para la recarga de acuífero se encuentra localizadas en la parte inferior de la cuenca donde las pendientes no sobre pasan el 25% y las unidades geológicas que se encuentran en superficies son depósitos aluviales, que no han sido intervenidos por actividades antrópicas. Por otra parte las zonas de recarga indirecta media se encuentran localizados en su gran mayoría en la zonas donde se encuentran aflorando rocas sedimentaria, que por sus características texturales y de composición son lugares propenso en pequeñas proporción a la recarga de acuífero, además están zonas se encuentra potenciadas por fallas geológicas que ayudan a la formación de recargas en esta zonas, mientras que las zonas de baja recarga se encuentra localizadas en sitios donde las característica no son favorables para su formación.

Mapa N° 21. Mapa de delimitación de zonas de recarga de la cuenca Chiriaimo.

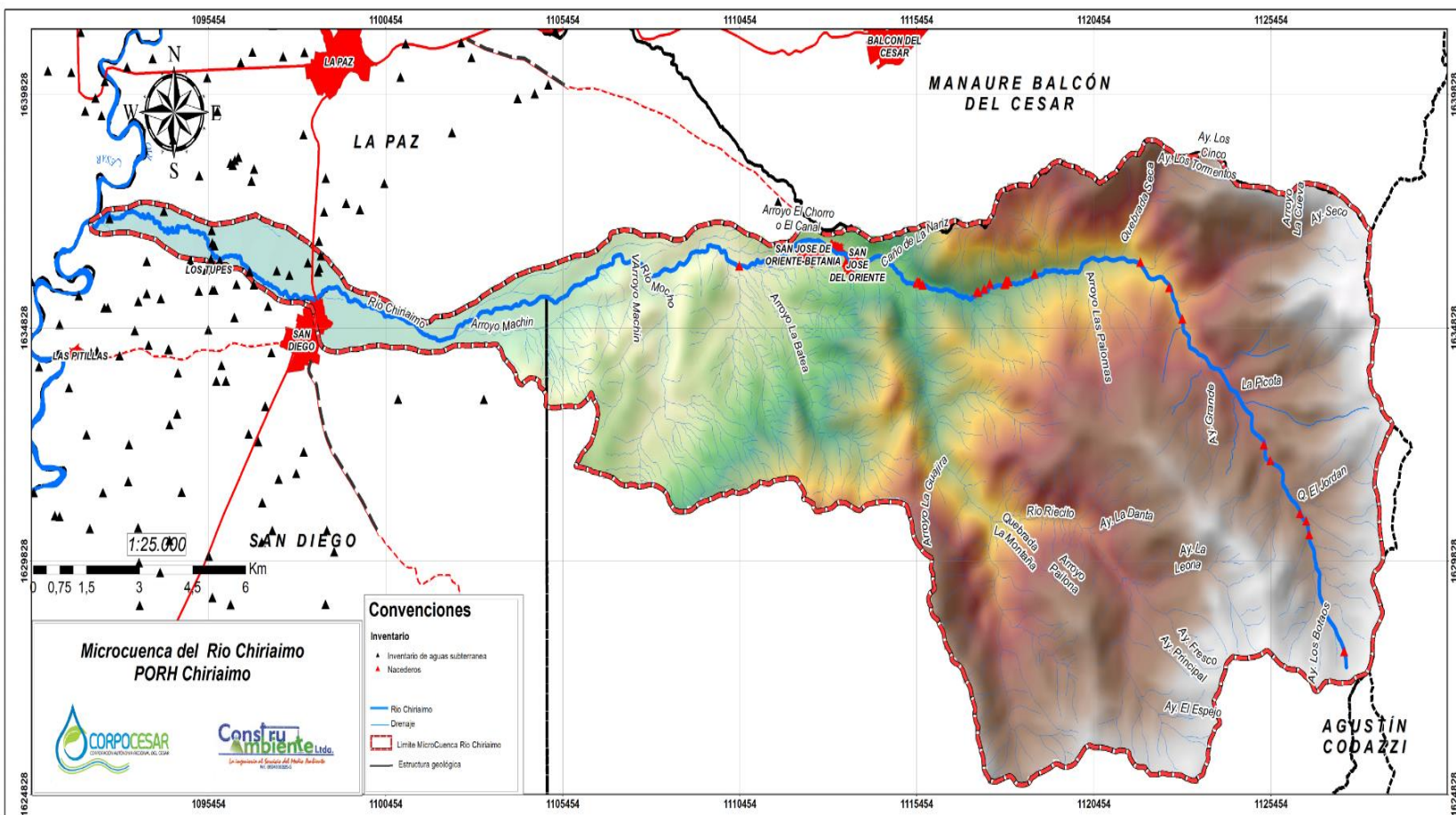


Fuente: Construaambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.3 Zonas de descarga

Las zonas de descarga suelen ser delimitados en aquellos sitios donde se presenta un cambio de manare abrupta en las pendientes del terreno, produciendo que el flujo tenga una dirección de manera paralela a la dirección de la pendiente. Estas zonas en campo suelen ser vista como afloramientos de manantiales, aljibes, nacederos de agua que llegan abastecer las diferentes actividades de la población. Debido a que no se obtiene mucha información son los manantiales o captaciones, que ayuden a determinar el flujo que tiene el agua en superficie, se realizó el levantamiento en campo de algunos de los puntos donde se capta agua (Mapa N° 22) y se realizó una revisión bibliográfica con el fin de conocer el uso del agua subterránea.

Mapa N° 22. Potenciales zonas de descarga en la cuenca Chiriamo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.8.4 Estimación de la oferta hídrica

Es importante aclarar que realizar la estimación de la oferta hídrica se debe contar con los datos y las variables que caractericen climatológicamente del área de estudio.

2.8.4.1 Información Climatológica

Para establecer el análisis climatológico de la microcuenca del Río Chiriamo se manejó como fuente, la información registrada y publicada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, mediante la operación de estaciones meteorológicas instaladas para el registro de las variables climáticas; localizadas dentro y próximas al área de estudio. Entre estas se utilizaron las estaciones de San José de Oriente (Climatológica Ordinaria), San Diego (Climatológica Ordinaria), y Bella la Cruz (Pluviométrica). Obteniendo información específicamente de los datos asociados a los parámetros de Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa, Brillo Solar.

En atención a que, de las tres estaciones ubicadas en el área de influencia de la microcuenca, solo la estación climatológica San José de Oriente es la que cuenta con registros históricos de las variables climáticas necesarias para la realización completa de un análisis climatológico, por lo tanto esta estación fue la que se utilizó para llevar a cabo dicho análisis (Ver Tabla N° 119) (Ver Anexo – Archivo Excel – Clima IDEAM).

Tabla N° 119 Registro de estaciones de consulta

CODIGO	NOMBRE	CATEG	ESTADO	CORRIENTE	DEPTO	MPIO	COORD. ESTE	COORD. NORTE	ALTITUD	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO		ENTIDAD ENCARGADA
										FECHA DE INSTALACIÓN	FECHA DE SUSPENSIÓN	
28020300	BELLA PAZ LA	PM	SUSPENDIDA	CHIRIAIMO	CESAR	LA PAZ	1.636.476,516	1.097.936,715	500	15/02/1967	15/10/1971	IDEAM
28025030	SAN DIEGO	CO	SUSPENDIDA	CHIRIAIMO	CESAR	LA PAZ	1.636.321,438	1.107.320,061	165	15/05/1964	15/05/1978	IDEAM
28025040	SAN JOSE D ORIENTE	CO	SUSPENDIDA	CHIRIAIMO	CESAR	LA PAZ	1.636.566,971	1.112.436,902	850	15/08/1975	15/05/1998	IDEAM

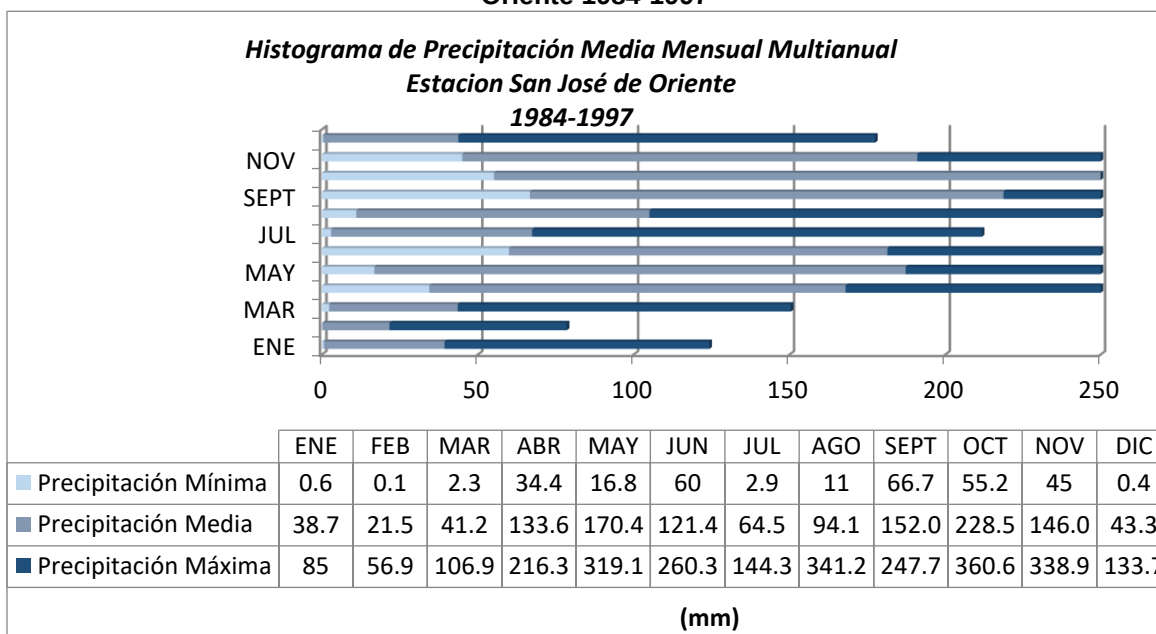
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

2.8.4.1.1 Precipitación

➤ Análisis mensual de precipitación

Con base en los análisis de los registros históricos de la estación San José de Oriente, se pudo establecer que la microcuenca del río Chiriaimo presento un comportamiento bimodal, lo que identifica una temporada lluviosa en el primer semestre concentrado en los meses de abril, mayo y junio, y el segundo semestre con mayores registros de precipitación en septiembre, octubre y noviembre, separados por un veranillo corto. Durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, se presenta la temporada de estiaje un poco más intensa.

Grafica N° 33 Histograma de Precipitación Media Mensual Multianual Estación San José de Oriente 1984-1997

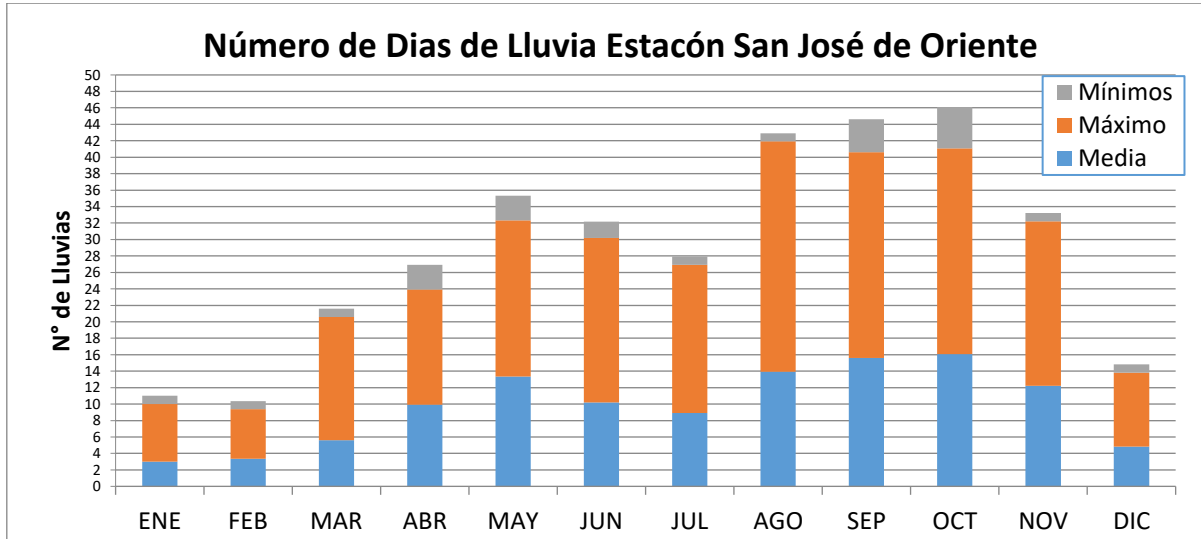


FUENTE: PORH Chiriaimo, 2019 tomado de IDEAM

De acuerdo a la permanencia de la precipitación a nivel mensual, pueden ser relacionadas directamente con la probabilidad de ocurrencia de catástrofes como las inundaciones, pues períodos de continuas y máximas lluvias generalmente tienden a afectar a las comunidades y las actividades socioeconómicas.

Una de las características más representativas de las lluvias, la constituye el número de días en que se presenta este fenómeno durante un mes determinado. El promedio anual de lluvias según la Grafica N° 34. En la estación San José de Oriente es de 10 días, caracterizando el mes de agosto con mayor influencia de lluvias.

Grafica N° 34 Número de Días de Lluvia Estación San José de Oriente



FUENTE: PORH Chiriaimo, 2019 tomado de IDEAM

En la se presentan los parámetros estadísticos relacionadas con las series pluviométricas de la Estación de San José de Oriente, para calcular el coeficiente relativo de ANGOT, en busca de establecer si el régimen de precipitaciones media mensual de la Microcuenca se ajusta a una distribución normal.

La estación San José de Oriente, se seleccionó como la estación principal, por ser la que cuenta con datos climatológicos más completos y con la que se pueden identificar las condiciones presentes en la zona, esta estación se localiza a 850 m.s.n.m.

Se calcularon los siguientes parámetros estadísticos: coeficiente relativo de ANGOT: desviación típica y coeficiente de variabilidad.

- Desviación estándar o Típica (σ_x): es el promedio o variación esperada con respecto a la media aritmética o es una medida de dispersión en estadística que muestra cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{N}}$$

Donde;

Σ = sumatoria

X = media

X_i = cada uno de los valores de la serie.

- Coeficiente de variabilidad (Cv%): (desviación estándar dividida entre la media, multiplicada por 100 por ciento.

$$Cv \% = (\sigma_x) / (m) * 100$$

Donde;

σ_x = Desviación estándar

m = Valor medio mensual de la precipitación en (mm)

- Coeficiente Relativo de Angot: es aquel que permite conocer fácilmente las relaciones entre los regímenes de dos estaciones cualesquiera, por ello es necesario aplicar la noción del coeficiente pluviométrico. Los coeficientes pluviométricos pueden emplearse para establecer curvas que muestren el régimen con mayor claridad.

Esta relación resulta de dividir el número que expresa la lluvia media observada en un mes dado por la que se observaría si la suma anual estuviese igualmente repartida a lo largo del año. Para tener en cuenta la desigualdad de los meses -una de las objeciones apuntadas, la suma anual se divide por 365 y se multiplica por el número de días del mes considerado; el resultado sirve de divisor a la media mensual observada.

$$\text{Coeficiente Relativo de Angot} = (p * 365) / (P * d)$$

Donde;

p = precipitación media mensual.

P = precipitación media anual.

d = días del mes considerado.

Tabla N° 120 Valores de los parámetros estadísticos a nivel mensual, estación San José de Oriente

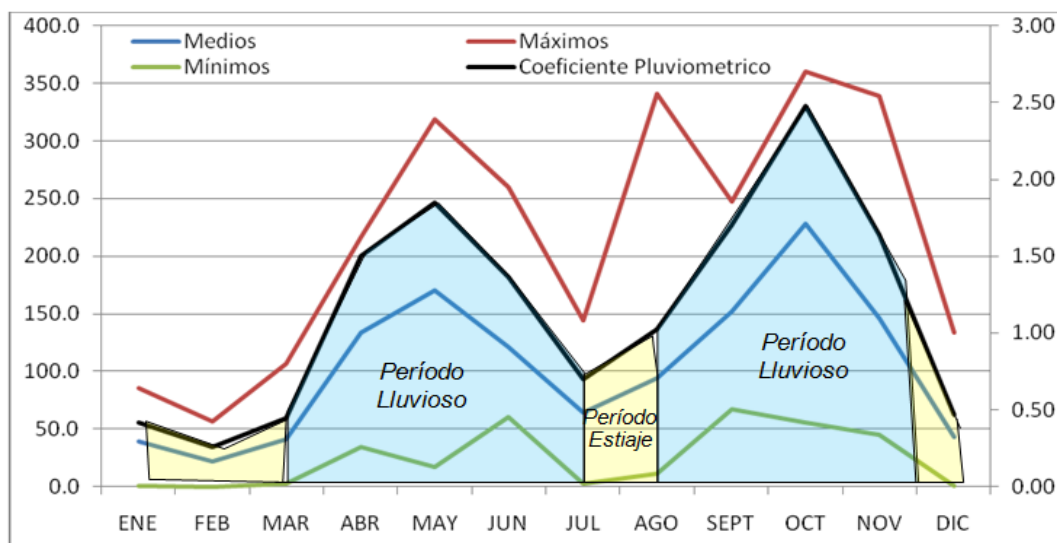
MEDIO	38,7	21,5	41,2	133,6	170,4	121,4	64,5	94,1	152,0	228,5	146,0	43,3	1085,2
MAXIMO	85	56,9	106,9	216,3	319,1	260,3	144,3	341,2	247,7	360,6	338,9	133,7	1930,2
MINIMO	0,6	0,1	2,3	34,4	16,8	60	2,9	11	66,7	55,2	45	0,4	0,0
DESV. STAND	31,5	17,4	35,8	64,5	83,8	72,0	45,0	84,0	49,2	104,2	92,7	45,4	475,9
Cv%	81,3	80,7	86,8	48,3	49,2	59,3	69,7	89,3	32,4	45,6	63,5	104,7	0,4
Coef. Pluviom	0,42	0,26	0,45	1,50	1,85	1,36	0,70	1,02	1,70	2,48	1,64	0,47	

Fuente: PORH Río Chiriaimo, 2019

Los resultados del coeficiente de ANGOT determinaron que para el caso de la Microcuenca del río Chiriaimo los periodos de lluvias máximos para la estación San José de Oriente, son similares entre los meses de abril a junio y de agosto a

noviembre, y así mismo la época de estiaje son coincidentes entre los meses de diciembre a marzo y el mes de julio. (Ver Grafica N° 35).

Grafica N° 35 Valores medios, mínimos, máximos y Coeficiente Relativos de ANGOT mensuales, estación San José de Oriente.



Fuente: PORH Río Chiriaoimo, 2019

➤ Análisis anual de precipitación:

La estación San José de Oriente, tiene registro discontinuo de 14 años, y por lo tanto no son suficientes para realizar un análisis en cuanto a su distribución cronológica.

La Tabla N° 121, se presenta las variables estadísticas con relación a la estación San José de Oriente, donde la precipitación media anual fue mayor a 1000 mm/año.

Tabla N° 121 Variables estadísticas, análisis anual – estación San José de Oriente

MEDIO	VR ANUAL
MAXIMO	1085,17143
MINIMO	1930,2
DESV. STAND	0
Cv%	475,887835
Coef. Pluviom	0,43853701

Fuente: PORH Río Chiriaoimo, 2019

En la Tabla N° 122 se hace una comparación entre los periodos de registros manejados por el IDEAM durante los últimos 50 años relacionados con el fenómeno de La Niña, y los periodos de registros manejado por la estación San José de Oriente, asociados a eventos fríos y aumentos de la precipitación.

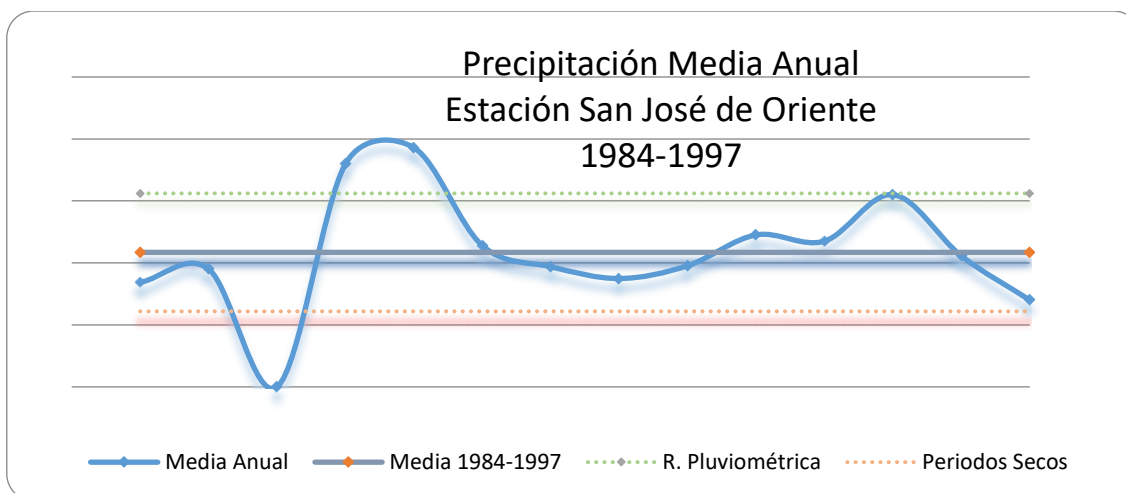
Tabla N° 122 Relación de los fenómenos de la Niña y los períodos de riqueza Pluviométrica

Periodos de registro de los fenómenos de la niña. Atlas Climatológico	Periodos de Riqueza Pluviométrica Estación San José De Oriente
1970 - 1971	
1973 -1974	
1975 - 1976	
	1987
1988 - 1989	1988
1998 - 2000	1995

Fuente: PORH Río Chiriaimo, 2019

De acuerdo a los registros de ocurrencia de eventos fríos y aumentos de las precipitaciones proporcionados por el IDEAM y la estación San José de Oriente, revelan que existe una relación entre el comportamiento presentado a nivel nacional y el presentado a nivel del área de influencia de la estación, entre los años de 1988 y 1995.

Grafica N° 36 Distribución cronológica de la precipitación Media Anual, Estación San José de Oriente



Fuente: PORH Río Chiriaimo, 2019

En la Grafica N° 36 Grafica N° 36 Distribución cronológica de la precipitación Media Anual, Estación San José de Oriente, se observa que, en el año 1986 como el único año seco, pues la precipitación media anual es menor a 609.3 mm. También es importante resaltar que para los períodos de 1984, 1985, 1990, 1991, 1992, 1997, la precipitación estuvo por debajo de la media multianual, situación que trasciende en la disponibilidad de agua en algunos de los meses, y donde la población y las funciones de los sistemas ecológicos se pueden ser alteradas. Además, se registran períodos de riqueza pluviométrica para los años 1987, 1988 y 1995.

En la Tabla N° 123 se hace una comparación entre los periodos de registros manejados por el IDEAM durante los últimos 26 años relacionados con el fenómeno del Niño, y los periodos de registros manejado por la estación San José de Oriente, asociados a periodos secos.

Tabla N° 123 Relación de los fenómenos de Niño y los períodos secos

Periodo Registro de los Fenómenos Del Niño	Periodos Secos
1972 - 1973	
1976	
1982 - 1983	
1986 - 1987	1986
1991 - 19992	
1994 - 1995	
1997 - 1998	

Fuente: PORH Río Chiriaimo, 2019

El principal elemento de valoración de la amenaza en términos de precipitación está referido en las máximas en 24 horas que son los que generan mayor problemática, sin embargo la falta de instrumentación en la cuenca no permite tener datos confiables por lo cual se utilizaron las isoyetas.

El mapa de isoyetas para la precipitación media multianual fue creado inicialmente en el programa SURFER, posteriormente se modifican en formato (FLT. ESRI float grid format (*.ers)) siendo una extensión compatible con la aplicación ARCMAP de la casa ARCVIEW para el posterior análisis y presentación en mapas temáticos de isolíneas.

En el Mapa N° 23 se muestra la distribución espacial de la precipitación media multianual en la microcuenca del río Chiriaimo, en el cual, se distinguen dos grupos homogéneos, un primer grupo homogéneo, de mayor magnitud, se localiza entre las alturas de precipitación 2010 y 2305 (mm/año), zona que corresponde la vereda la Nubes, zona este del área de estudio, territorio que además de estar influenciado por el sistema montañoso de la serranía del Perijá, se encuentra influenciado por la microcuenca Riecito.

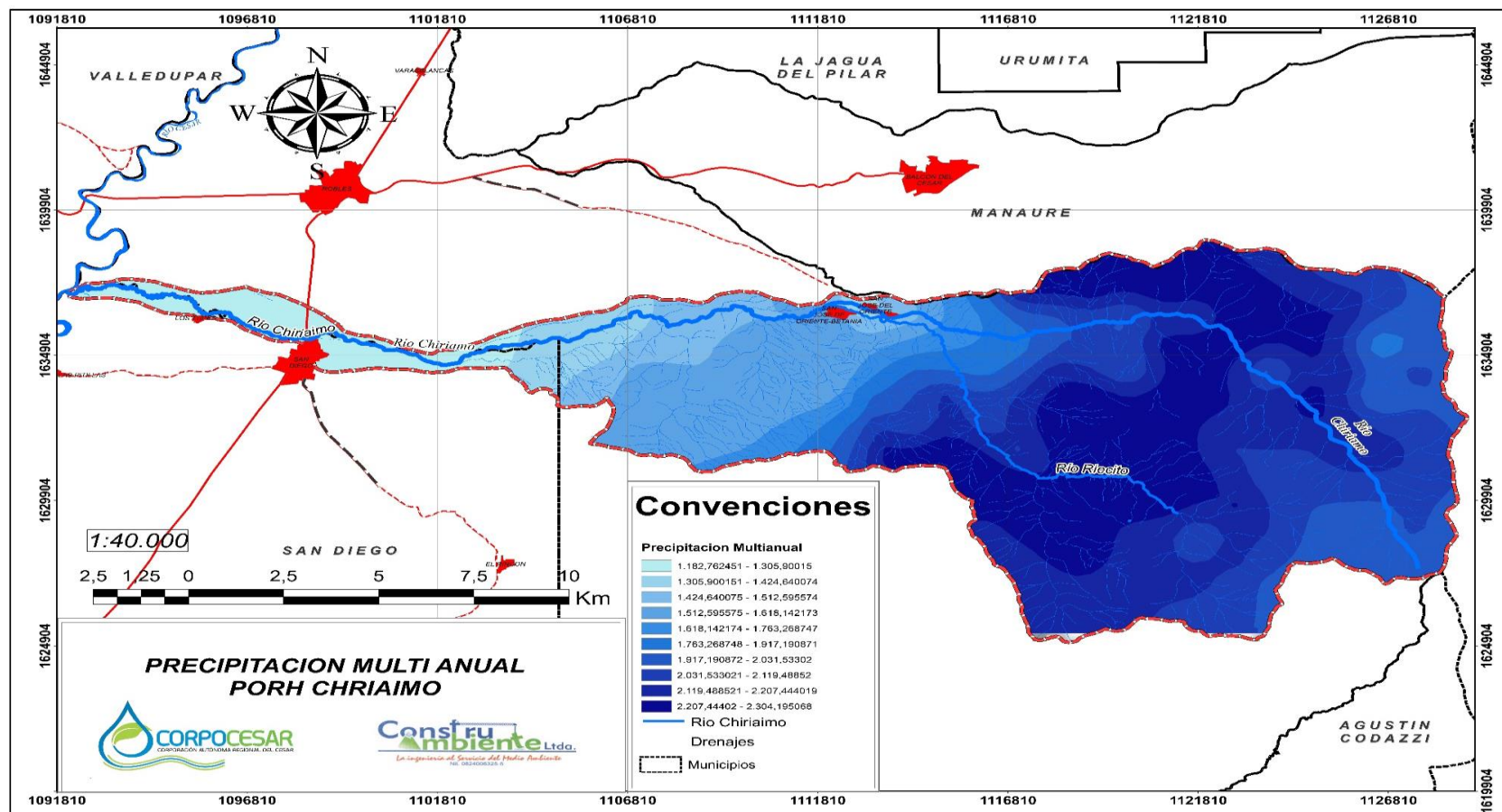
Por el contrario, se distingue un segundo grupo homogéneo, de menor intensidad hacia la parte media y baja de la microcuenca del Chiriaimo, en la zona correspondiente a la vereda La Vega y el centro poblado de San Diego con magnitudes que descienden desde los 2009 hasta 1168 (mm/año) para valores totales mensual de precipitación registrados para el mes de enero. La precipitación mensual promedio de la cuenca para el mes de enero es de 1949 (mm). (ver Tabla N° 124).

Tabla N° 124 Cálculo de la precipitación media multianual de la Microcuenca.

Intervalos de Precipitación		Marca de clase	Área entre	Área entre	Columna	3 x
Límite superior	Límite inferior		isolíneas	isolíneas	5	
mm		mm	m ²	ha		
1	2	3	4	5	6	
1168	1285	1227	10661892	1066	1307681	
1286	1385	1336	5867399	587	783591	
1386	1489	1438	9873611	987	1419332	
1490	1605	1548	26168471	2617	4049571	
1606	1739	1673	6221217	622	1040499	
1740	1887	1814	6028359	603	1093243	
1888	2009	1949	16892181	1689	3291441	
2010	2102	2056	34348690	3435	7062091	
2103	2199	2151	50498833	5050	10862299	
2200	2305	2253	51206946	5121	11534365	
			Suma	21777	42444112	
Precipitación anual promedio de la cuenca (mm)					1949	

Fuente: PORH Río Chiriaimo, 2019

Mapa N° 23 Distribución Espacial Media Multianual de la Precipitación en la Microcuenca del río Chiriaimo (mm/año).



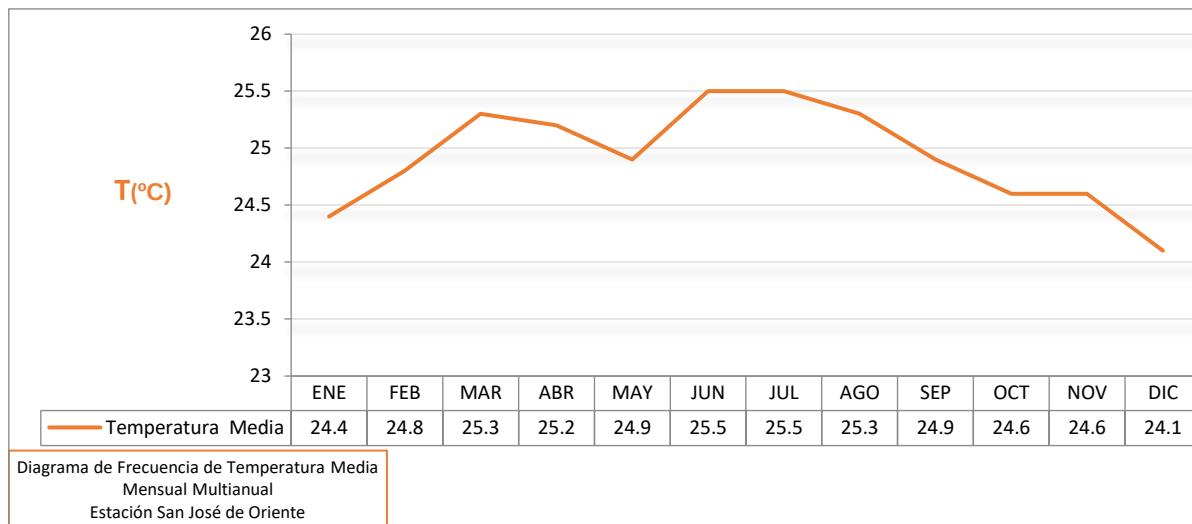
Fuente: Construyeambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEA

2.8.4.1.2 Temperatura:

➤ Análisis mensual:

En la Microcuenca del río Chiriamo existen estaciones climatológicas ordinaria, la más cercana es la estación San José de Oriente que se encuentra ubicada al noroeste del Departamento del Cesar; en la Grafica N° 37, se aprecia la temperatura media mensual comprendida entre 1984 hasta 1997 para esta estación.

Grafica N° 37 Valores medios de Temperatura Estación San José de Oriente



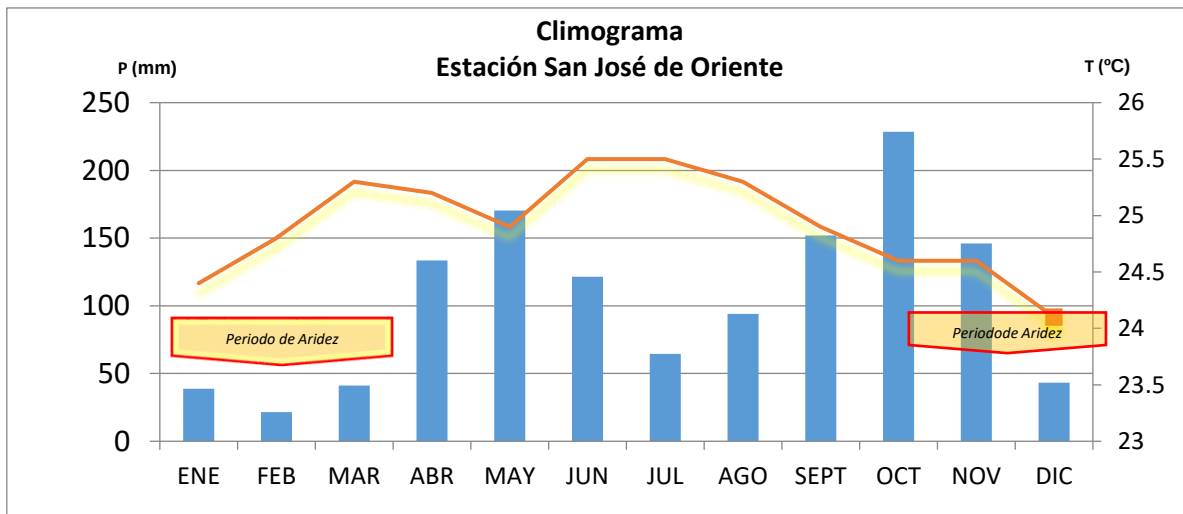
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

La temperatura media corresponde al promedio de las temperaturas observadas en el curso de un intervalo de tiempo determinado (hora, día, mes, año, década, etc.), en tanto que las temperaturas extremas corresponden al valor más alto (máximo) y más bajo (mínimo), presentados en el transcurso de tal intervalo. Las temperaturas del aire en la región Caribe del país son bastante cálidas y presentan un régimen bimodal a lo largo del año; los primeros meses de cada semestre se caracterizan por ser los que presentan las temperaturas más altas.

En la Grafica N° 38 se muestra el climograma de la estación San José de Oriente, en donde se relaciona la precipitación y la temperatura media mensual multianual, observándose un periodo de aridez desde Diciembre hasta Marzo, un periodo de lluvias máximas para Mayo, Septiembre y Octubre, mostrando una precipitación máxima de 228,5 mm en el mes de octubre y otro período secundario de lluvias en los meses de abril, mayo y Junio con lluvias no mayores a 170 mm.

Los Climogramas o diagramas Ombrotérmicos son analizados a partir de la interpretación del índice de aridez o índice de Gaussen, la cual define que la precipitación es igual a las Temperaturas en grados Celsius por dos (2). Si las precipitaciones en milímetros (mm) son inferiores al doble de la temperatura media en grados centígrados (°C), el mes es seco, mientras que no lo es si resulta una cifra mayor.

Grafica N° 38 Climograma de la estación San José de Oriente, Microcuenca del río Chiriaimo.

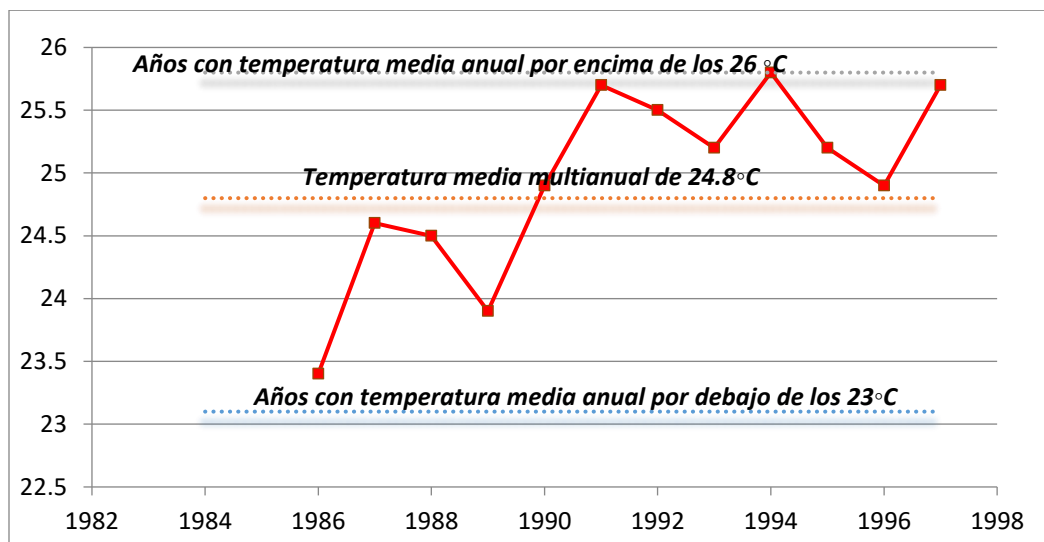


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

➤ Análisis anual

En la siguiente gráfica se muestra la distribución cronológica de la temperatura desde el año 1984 hasta 1997, con datos de temperatura media. Puede ser relacionada con la Tabla N° 125 y la identificación de algunos fenómenos climáticos y atmosféricos.

Grafica N° 39 Distribución temporal de la temperatura media anual, estación San José de Oriente



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

Tabla N° 125 Datos estadísticos de temperatura multianual, estación San José de Oriente

parámetro	Unidad	Valor
Temperatura media multianual	°C	24,8
Temperatura máxima media multianual	°C	25,8
Temperatura mínima media multianual	°C	23,1
Amplitud térmica	°C	2,7

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

➤ Distribución espacial de la temperatura: Isotermas

La distribución espacial de la temperatura se realizó por el método de Isolíneas o Isotermas, utilizando el interpolador Kriging de la herramienta informática Golden software Surfer versión 9, correlacionando e interpolando la información de temperatura en grados centígrados, de las estaciones del IDEAM (San José de Oriente) y los puntos de la base de Worldclim. (Datos extraídos sistemáticamente dentro del área de estudio).

La temperatura varía de acuerdo a la distribución de distintos tipos de superficies (cobertura vegetal, tipos de suelo, vegetación y humedad en el suelo) y en función de la altura. Para el caso de la cuenca del río Chiriaoimo, la temperatura a nivel anual,

varía entre los 28 y 1 °C, Identificándose temperaturas alrededor de los 16 y 18 grados centígrados en la vereda la Nubes, distinguiéndose menores magnitudes de temperatura hacia el este de la cuenca.

Siguiendo un comportamiento lineal de menor a mayor temperatura, de zona de montaña a zona de planicie, En la zona oeste de la cuenca, se distinguen mayores magnitudes de temperaturas, sector correspondiente al municipio de San Diego y el corregimiento de Los Tupes con valores superiores a 28 °C. La temperatura media anual de la cuenca del río Chiriaimo es de aproximadamente 18° C, calculada a través del método de isolíneas. A continuación, en la Tabla N° 126 se muestra el cálculo.

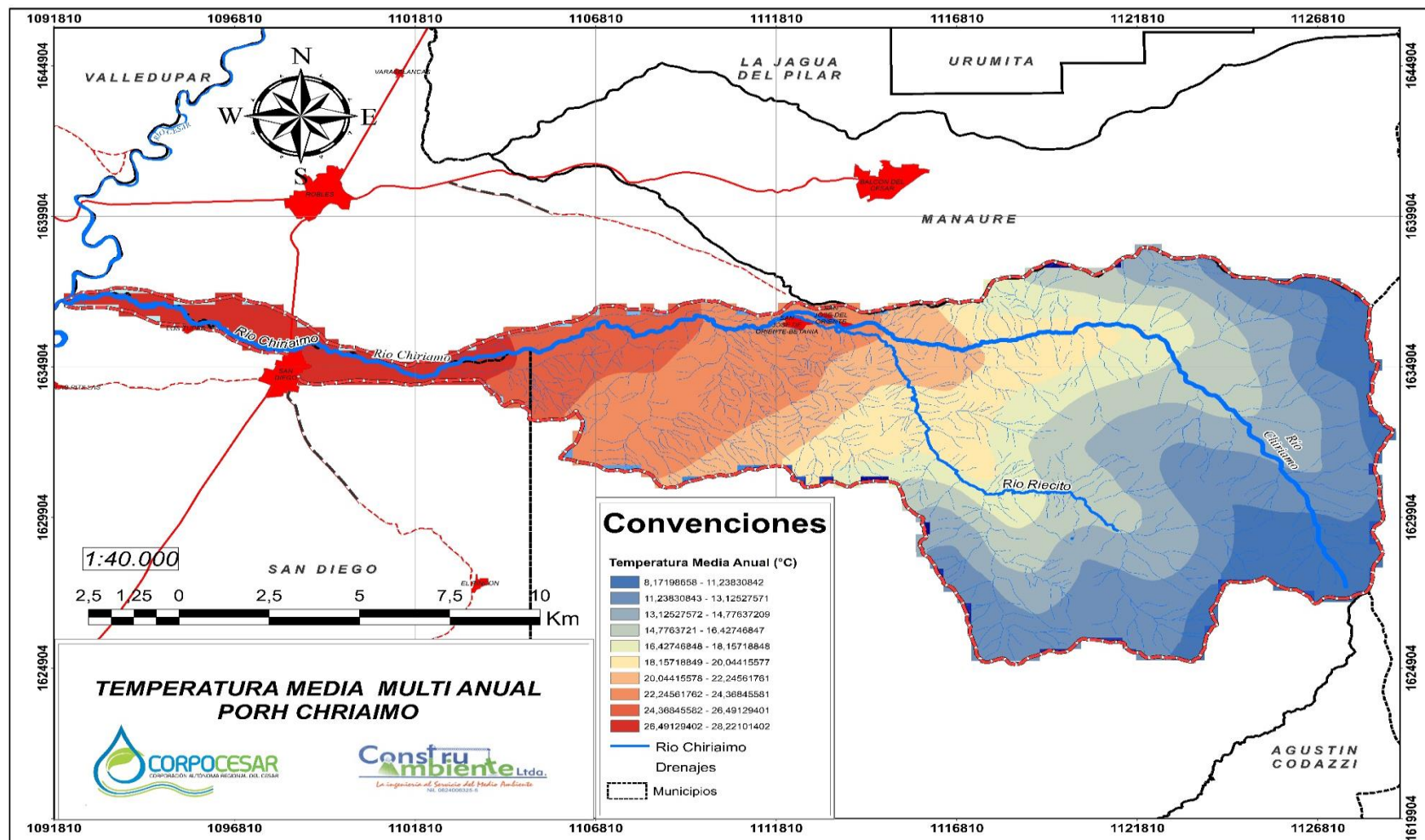
Tabla N° 126 Cálculo de la temperatura media anual de la microcuenca

Intervalos de Temperatura		Marca de clase	Área entre isolíneas	Área entre isolíneas	Columna 3 x 5
Límite superior	Límite inferior				
(°C)		(°C)	m ²	ha	
1	2	3	4	5	6
7	11	9	16269861	1627	14643
12	13	13	44830827	4483	56039
14	15	15	37388935	3739	54214
16	18	17	27320951	2732	46446
19	20	20	25592621	2559	49906
21	22	22	14730816	1473	31671
23	24	24	21761891	2176	51140
25	25	25	11718578	1172	29296
26	27	27	7840225	784	20777
28	28	28	10313735	1031	28878
			Suma	21777	383010
Temperatura anual promedio de la cuenca (°C)					18

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 24 Distribución espacial de la temperatura media mensual en Grados Centígrados (°C)



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

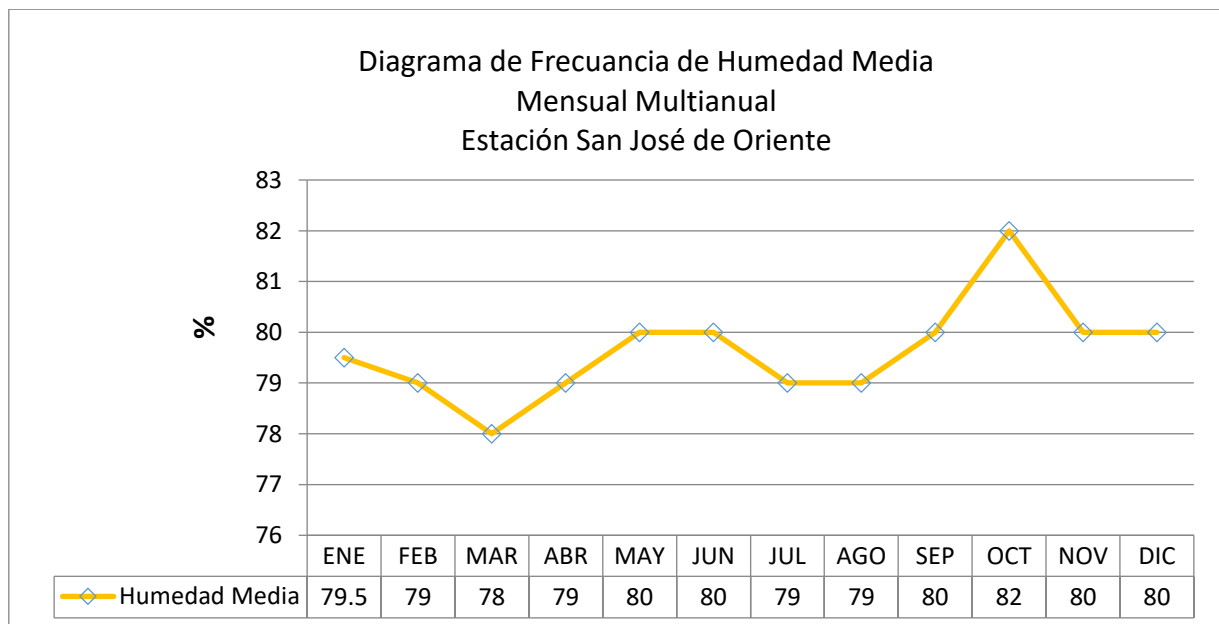
2.8.4.1.3 Humedad Relativa:

Los valores de humedad relativa disminuyen de sur a norte: hacia el norte y oriente de la región; hacia el norte del departamento del Cesar se presentan los valores más bajos de humedad relativa, entre el 67 y 76%. En el área de la Sierra Nevada de Santa Marta el promedio de humedad anual puede llegar hasta el 90%.

A través del año la humedad relativa, en general, presenta sus valores mínimos a comienzos de año, entre febrero y marzo, y los máximos hacia el final, entre septiembre y noviembre. Hacia el mes de julio se presenta un descenso entre ligero y moderado de los valores de la humedad en casi toda la región.

La humedad relativa media multianual de la estación San José de Oriente es de 79.6 % y la temperatura media multianual es de 24,8 °C, referente a lo anterior la humedad relativa aumenta, cuando la masa de aire se eleva por efectos del relieve y la temperatura disminuye, presentando una variación de 69% hasta 88%, correspondiente a los meses de mayo y octubre. (Ver Grafica N° 40 y Tabla N° 127).

Grafica N° 40 Diagrama de frecuencia de humedad relativa y temperatura media en la Estación San José de Oriente.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

Tabla N° 127 Datos estadísticos de temperatura multianual, Estación San José de Oriente.

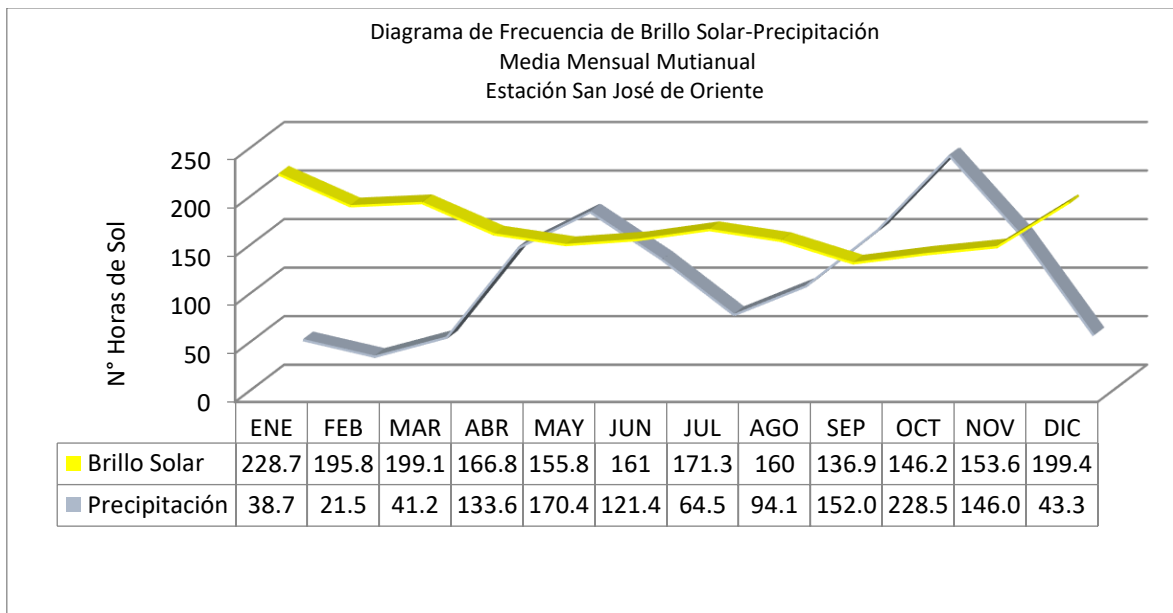
Humedad Relativa%													
MEDIOS	79,5	79	78	79	80	80	79	79	80	82	80	80	79,6
MAXIMOS	82	83	84	83	85	84	83	84	85	88	83	83	88
MINIMOS	74	70	72	75	69	73	72	73	73	75	76	74	69

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

2.8.4.1.4 Brillo solar

En la **Grafica N° 41** se registran valores maximos en los meses de Enero, Febrero y Diciembre teniendo elevaciones en Enero y Febrero con 228,7 y 195, 8 horas de brillo solar, respondiendo a bajos valores de nubosidad, debido a la relación inversa entre precipitación – nubosidad vs. Brillo solar. Los periodos maximos de lluvia se concentran en los meses de Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre, esto representa una herramienta útil para el aprovechamiento de esta variable como fuente de energía; así mismo muestra la susceptibilidad del sistema a cambios drásticos de temperatura.

Grafica N° 41 Diagramas de Frecuencia de Precipitación y Brillo Solar Mensual Multianual, Estación San José de Oriente



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

2.8.4.1.5 Evaporación

La evaporación es la emisión de vapor de agua desde una superficie húmeda a temperatura inferior al punto de ebullición. La evaporación se produce a partir de superficies de agua o de superficies sólidas húmedas, como ocurre con el suelo. La sublimación es la transformación directa en vapor de agua del hielo o de la nieve. El agua que extraen del suelo las raíces de los vegetales sube hasta las hojas, donde se transforma, en su mayor parte, en vapor de agua escapándose a la atmósfera por las estomas. Esta emisión de vapor de agua por las hojas de las plantas se conoce con el nombre de transpiración.

La cuenca del bajo Magdalena y en especial las sabanas de Córdoba, Bolívar, Cesar, Magdalena y noreste de Antioquia, se ven afectadas por flujos de aire provenientes del Norte y Oeste, además del gran calentamiento radiactivo que se produce durante el día, lo cual incide en los altos niveles de evaporación, cuyos valores son cercanos a los 1.700 milímetros anuales.

Los datos de evaporación se utilizan ampliamente en diferentes ramas del sector productivo, principalmente en las aplicaciones a la agricultura y a la generación de energía. En agricultura, el dato de evaporación permite estimar necesidades de riego mediante un balance hídrico que incluya también precipitación, propiedades del suelo y estado del cultivo. De la misma manera, se debe incluir el dato de evaporación en el manejo de embalses mediante modelos de balance hidrológico.

Uno de los factores que incide en el régimen anual de la evaporación es el paso de la zona de convergencia intertropical, que durante el año atraviesa el país de sur a norte y viceversa. Algunas regiones del país generalmente presentan una distribución bimodal, caracterizada por una distribución con dos períodos de máximos valores de evaporación al año, en medio de los cuales ocurren períodos de valores menores, y otras regiones presentan un régimen monomodal, caracterizado por un período de valores altos, seguido de un período de valores mínimos. La distribución bimodal se presenta principalmente en la zona norte del país, valles interandinos del Magdalena-Cauca y en gran parte de la región Andina y la monomodal en algunos sectores del noroccidente del país, región Pacífica, y gran parte de la Orinoquia y Amazonia.

2.8.4.1.6 Vientos

A diferencia de las demás variables climatológicas, el viento es un vector. Sus dos componentes, la magnitud y la dirección, tienen variabilidades espaciales muy

diferentes. Referente a lo anterior se puede señalar que en la cuenca del río Chiriaimo los vientos vienen del noreste, en armonía con los vientos Alisios. Sin embargo, también se presenta, aunque con menor frecuencia, la influencia de efectos locales como la brisa valle-montaña que tiene una incidencia apreciable en el comportamiento del viento en esa ciudad.

La orografía, en general, constituye un factor que incide considerablemente en las velocidades que toma el aire en su desplazamiento. Las cadenas montañosas, como la cordillera oriental que se opone al flujo de los alisios del sureste, constituyen barreras físicas que alteran el flujo de las corrientes del aire al cruzar las cordilleras y que, de acuerdo con su orientación o accidentes fisiográficos, pueden conducir al fortalecimiento o debilitamiento de los vientos. La velocidad de los vientos dominantes tiende a crecer con la altitud, debido a la reducción de la fricción con el suelo. En zonas montañosas, entre la parte baja y los 2.500 o 3.000 metros de altitud la velocidad puede aumentar con la altitud al doble o al triple.

2.8.4.1.7 Balance hídrico climático

El balance hídrico se considera una herramienta para la estimación de la oferta hídrica, mediante la cuantificación de la escorrentía superficial aplicando ecuaciones de conservación de masa en la cuenca de estudio, teniendo en cuenta las variaciones en el ciclo hidrológico, así:

Tabla N° 128 Variables para el cálculo del Balance Hidrológico

Entradas (I):	Salidas (O):	Cambio de almacenamiento (CS) (Ct)
• Precipitación (P) • Escorrentía Superficial • Aguas subterráneas	• Evaporación • Transpiración • Escorrentía superficial hacia otras cuencas • Infiltración	• Almacenamiento de aguas subterráneas • Almacenamiento por cambio de humedad del suelo • Almacenamiento superficial en embalses canales y en la escorrentía superficial

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019 con información del IDEAM

Debido a la escasa información de estudios edafológicos en la zona de estudio, se optó por utilizar la clasificación climática de Thornthwaite 1949, seguido del balance hídrico climático calculado por el método Thornthwaite (Método Directo y Mather 1955, tomando como referencia climática una reserva máxima de 100 mm. El valor

se tomó como referencia climática para comparaciones entre distintas zonas (independientemente del suelo y vegetación. Esta metodología es muy útil y necesita para realizar los cálculos, pues tan sólo se necesitan de dos variables: precipitación y temperatura.

Este método supone que el agua llega al suelo, bien sea por precipitación, o por escorrentía, o por aportes subterráneos y es evapotranspirada de acuerdo con las condiciones medias climáticas o actuales de la atmósfera.

En los balances a nivel mensual se consideran solamente los aportes de agua provenientes de la precipitación; los aportes de agua subterránea o las pérdidas por percolación, no se tienen en cuenta. Las demandas siempre están dadas por la ETP media.

Las pérdidas en el almacenamiento del suelo se calculan a una tasa proporcional, dependiendo de la fracción de agua almacenada en el suelo. Estas pérdidas se calculan cuando la lluvia es insuficiente para cubrir la demanda de agua (ETP), la cual deja un déficit de agua (ETP-P); entonces a partir de la capacidad total de almacenamiento del agua en el suelo y del valor correspondiente al mes anterior (almacenamiento anterior), se determina la fracción de agua almacenada para multiplicarlo por el déficit y así cubrir parte de dicho déficit.

- Pérdida por almacenamiento (PA): Se presenta cuando la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial.

$$PA = (ETP - P) \times \left(\frac{Aa}{At} \right)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial

P = Precipitación

Aa = almacenamiento del mes anterior

At = almacenamiento total

- Almacenamiento (A): Existe cuando la precipitación es mayor que la ETP, quedando una reserva de humedad que se acumula mes a mes y no puede ser superior a la capacidad de campo.

$$A = Aa - Pa$$

Donde:

Aa = almacenamiento del mes anterior

Pa = pérdida por almacenamiento

- Evapotranspiración real (ET): Es la evapotranspiración que realmente, según el método, ocurre en función del agua disponible (precipitación + almacenamiento).

$$ET = Pr + Pa$$

Donde:

Pr = precipitación

Pa = pérdida por almacenamiento

- Déficit (Df): Cuando la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial, se evapora y transpira toda el agua precipitada, la cantidad que hace falta para completar el total de ETP, se toma del almacenamiento y, si aun así no se completa el valor de ETP el faltante se considera como déficit (deficiencia). La suma de los valores mensuales se conoce déficit anual.

$$Df = ETP - ET$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial

ET = evapotranspiración real

- Excesos (Ex): Existe si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y hay un sobrante de agua una vez completado el almacenamiento en el suelo. A la suma de los excesos producidos mes a mes durante todo el año se denomina exceso anual (E).

$$Ex = Aa + P - ETP - At$$

Se debe cumplir la siguiente relación:

$$P + Df = ETP + E$$

En los valores anuales cuando:

$$P > ETP \text{ y } A + P > ETP + At$$

- Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

Para estimar la evapotranspiración potencial se debe elegir la fórmula que mejor se adapte a la zona y a la disponibilidad de información climatológica, se optó por utilizar el método de Thornthwaite para calcular la ETP, el cual requiere de los registros de temperaturas medias mensuales.

$$ETP = 0.53 \left(10^{T/I} \right)^a$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración Potencial media diaria sin ajustar.

T = Temperatura media mensual en grados centígrados.

I = Índice calórico anual que se obtiene por la suma de los
Doce índices calóricos mensuales; cada índice mensual (i)

Donde:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

a = Un exponente, función de I dado por la fórmula:

$$a = (675 * 10^{-9}) I^3 - (771 * 10^{-7}) I^2 + (179 * 10^{-4}) I + 0.492$$

El balance hídrico, se realiza basado en la información pluviométrica, temperatura (Estación IDEAM – San José de Oriente) y capacidad de almacenamiento de 60 mm. Calculados a partir del mes de Octubre, donde se garantiza o se puede establecer una probabilidad de almacenamiento o reserva inicial del suelo, ya que este es el mes con registros de mayor pluviosidad y coeficiente pluviométrico. Como resultado de la base de datos (archivo de Excel – 2. Balance Hídrico_Chiriaimo), se obtiene la distribución espacial anual de la Evapotranspiración Potencial, Evapotranspiración Potencial Real, Déficit, Excesos y Almacenamiento.

➤ Balance Hídrico: Distribución Espacial

Para la distribución espacial de los índices se realizó por el método de las Isolíneas, utilizando el interpolador Kriging de la herramienta informática Golden software Surfer versión 8, Correlacionando e interpolando la información de los índices correspondiente a la estación del IDEAM (San José de Oriente) y los puntos de la base de Worldclim. (Datos extraídos sistemáticamente dentro del área de estudio).

Posteriormente se exporto en formato Grids, la información interpolada en el programa SURFER, consecutivamente se modificó en formato (FLT. ESRI float grid format (*.ers)) siendo una extensión compatible con la aplicación ARCMAP de la casa ARCVIEW para el posterior análisis y presentación en mapas temáticos de isolíneas.

La distribución espacial anual de la evapotranspiración potencial (Ver Mapa N° 25), presenta condiciones similares a la Temperatura en cuanto al comportamiento de la

distribución espacial , con valores mínimos de ETP localizado al este de la microcuenca del río Chiriamo (microcuenca alta), Identificándose valores desde los 563 hasta 651 mm/año, aumentado su magnitud hacia la Vereda las Nubes, continuando con el corregimiento de San José de Oriente, la Vereda la Vega en la cuenca media y posteriormente en el casco urbano del municipio de San Diego registra valores máximos al occidente de la microcuenca con valores de 1801 a 2004 mm/año, para la zona correspondiente al centro poblado de San Diego.

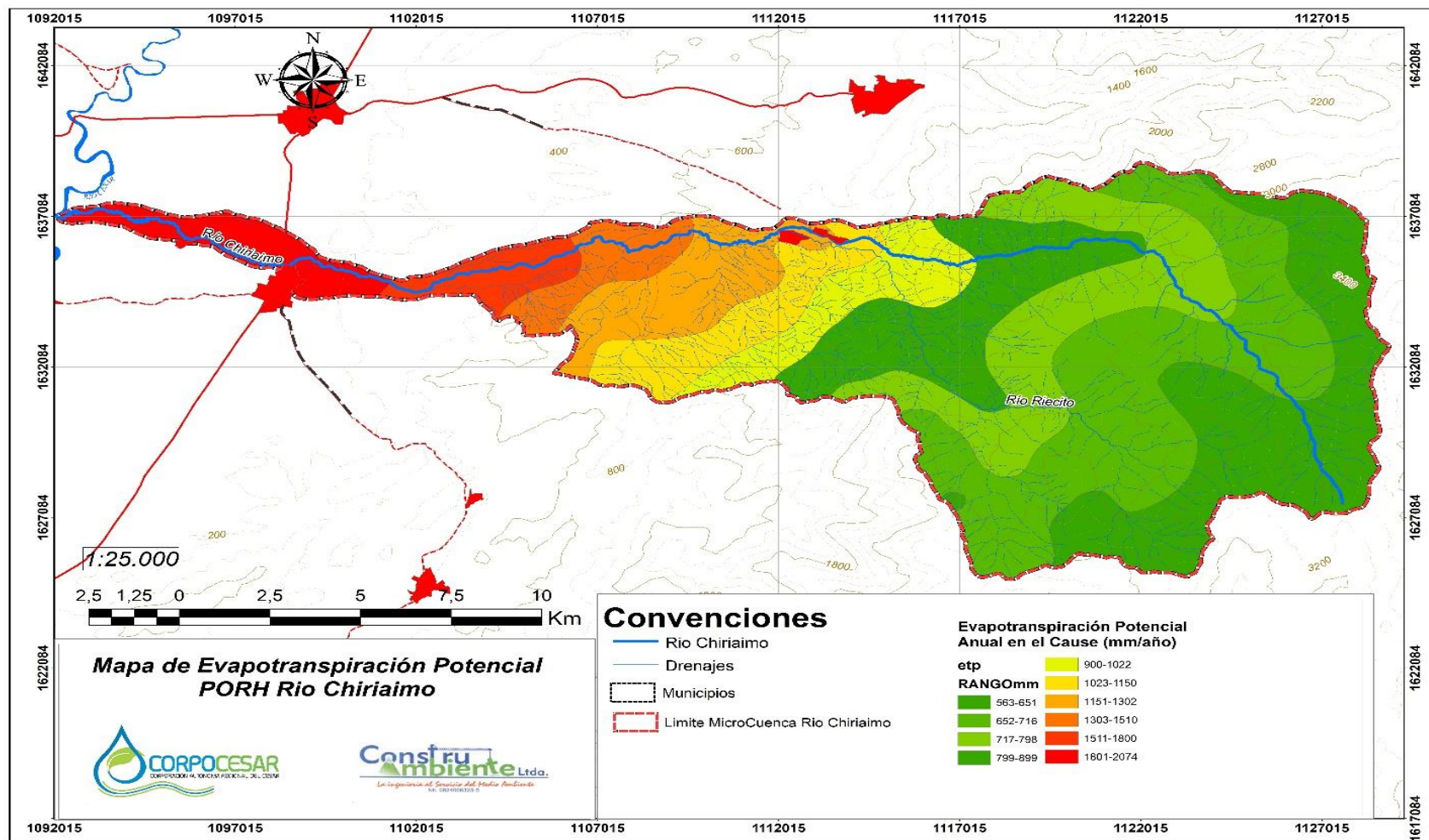
En el Mapa N° 26, se muestra el mapa de distribución espacial de déficit en la cuenca del río Chiriamo, el cual describe un valor déficit anual que oscila entre los 509 y los 845 mm/año, en los centros pobladores los tupes y San Diego. Las microcuencas que presentan condiciones de déficit de mayor preocupación son la microcuenca media y baja.

En el Mapa N° 27, se presentan los excesos de agua en el suelo los cuales son abundantes al oeste de la cuenca con valores de 48 a 154 mm/año. Las áreas con excesos reducidos son los pertenecientes a la cuenca media y baja, con excesos superiores a los 1413 mm/año.

En el Mapa N° 28, se distingue el mapa de distribución espacial del almacenamiento de agua en el suelo, resaltando que en este análisis se estableció una capacidad de campo para una reserva inicial y máxima de agua de 100 mm. Presentando un mayor almacenamiento de agua hacia el este con valores superiores a los 1084 mm/año, y al occidente con valores mínimos de 173 a 341 mm/año.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

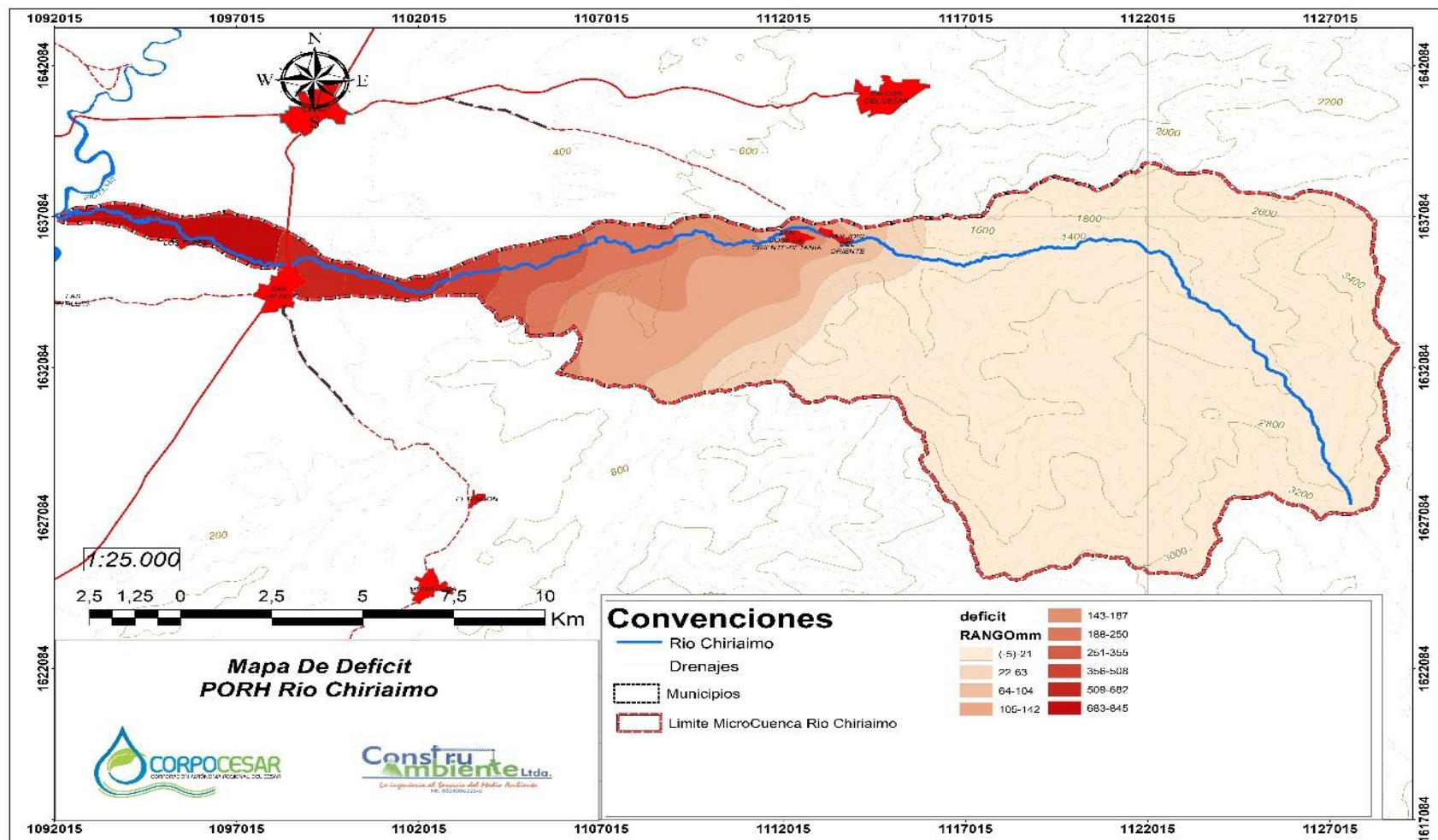
Mapa N° 25. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial anual en la Microcuenca (mm/año)



Fuente: PORH Río Chiriaoimo, 201

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

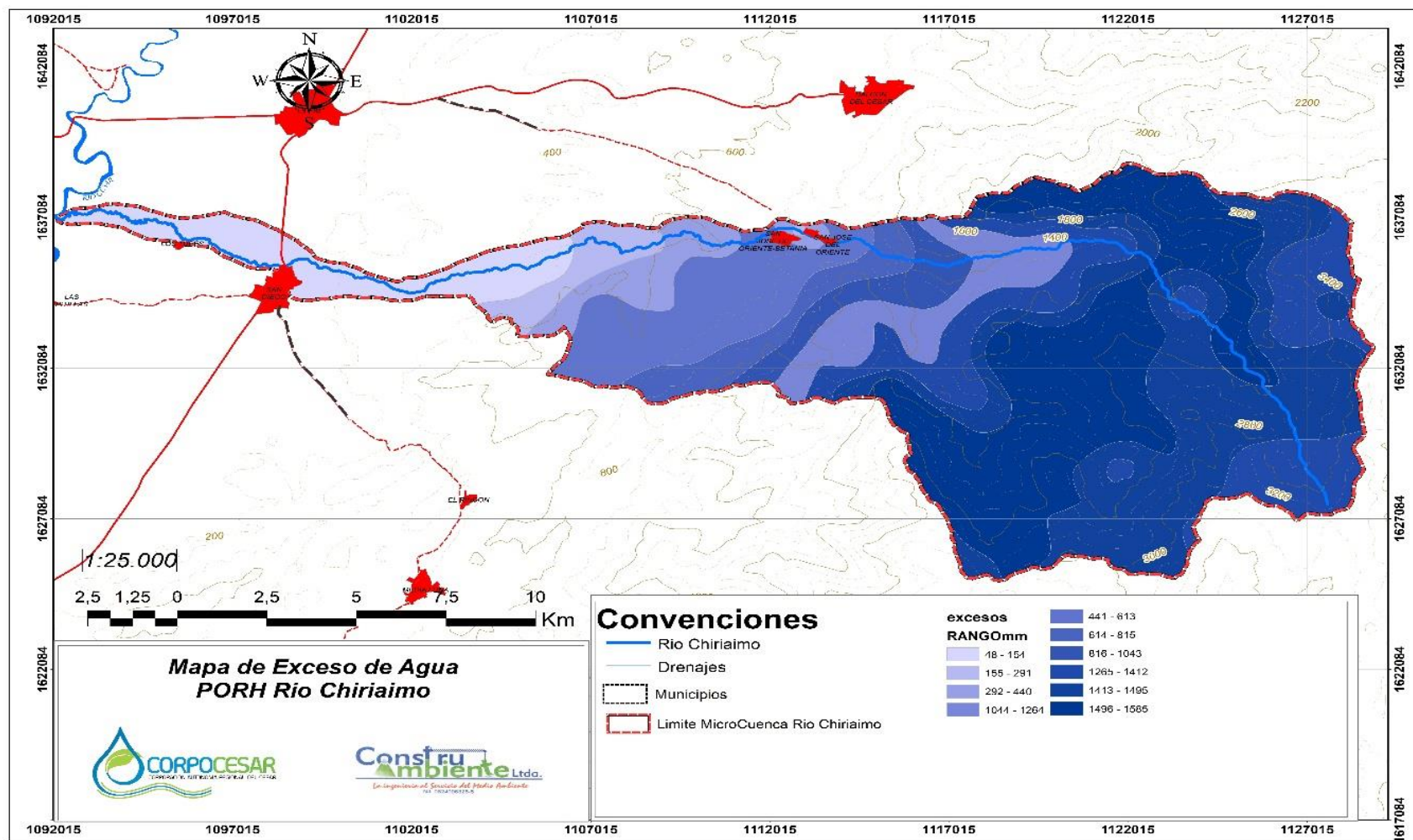
Mapa N° 26. Distribución espacial del déficit de agua en el suelo en la cuenca (mm/año)



Fuente: PORH Río Chiriaimo, 20

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

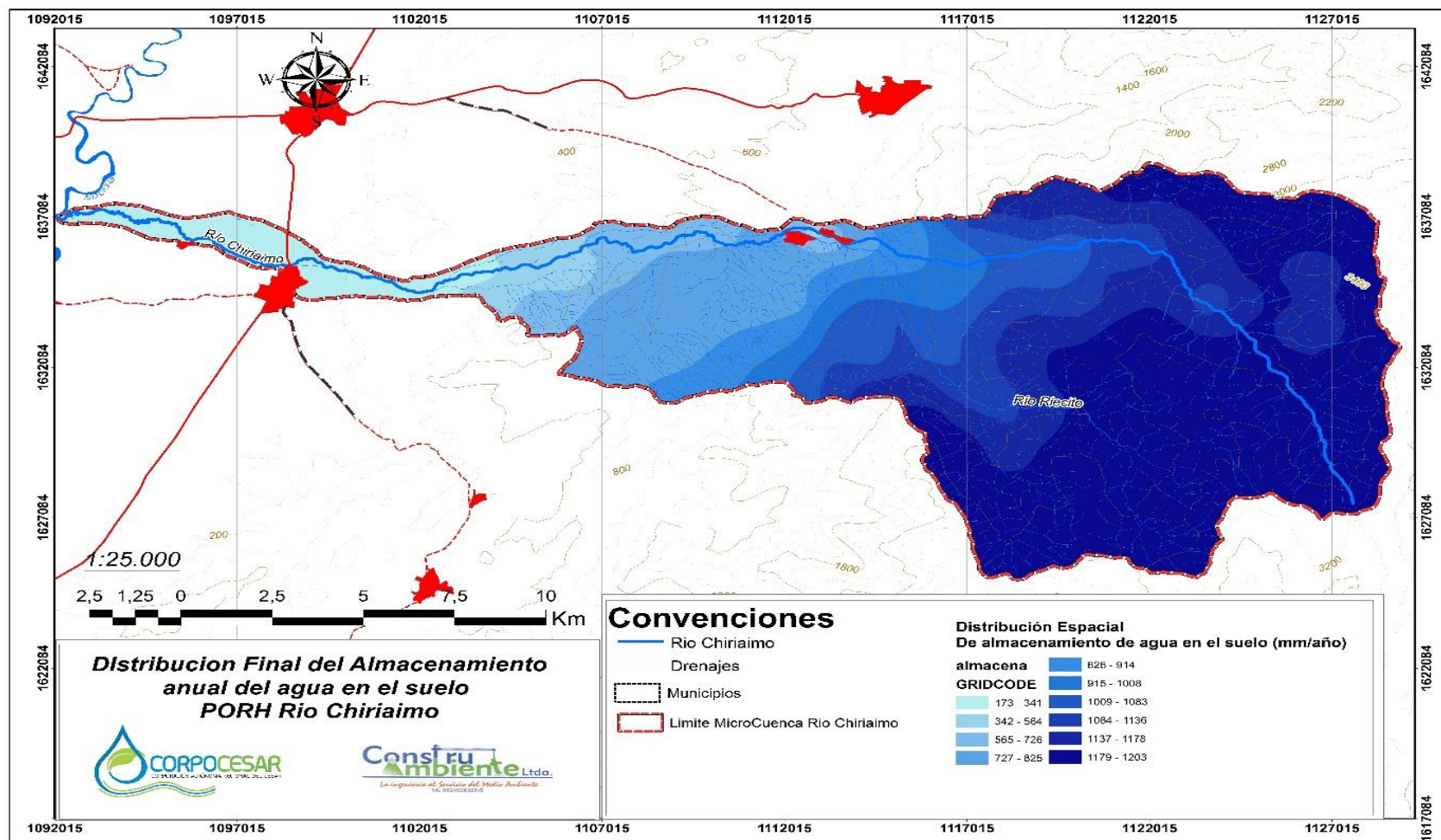
Mapa N° 27. Distribución especial de los excesos de agua en el suelo



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 28. Distribución espacial del almacenamiento anual de agua en el suelo (mm/año)



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

➤ Clasificación Climática: Thornthwaite (1949)

La clasificación de Thornthwaite (1949) ha sido ampliamente asumida dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva geográfica.

Basada en la consideración de la eficacia térmica, dada por la ETP del mismo autor, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y de aridez a partir del balance hídrico. El autor utiliza sus trabajos previos en la estimación de la ETP y el balance de humedad del suelo. Supone un gran avance respecto a otras clasificaciones ya que parte del clima que afecta al suelo y a la planta, es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo; en vez de medias mensuales de parámetros meteorológicos clásicos.

Esta clasificación define unos tipos según la humedad (representados por letras mayúsculas) y su variación estacional (letras minúsculas), y otros tipos según la eficacia térmica (letras mayúsculas con comilla) y su concentración estival (letras minúsculas con comilla).

El tipo de humedad está basado en un índice de humedad global que combina dos índices, uno de humedad y otro de aridez. Para su definición es necesario realizar un balance hídrico mediante el método directo y con reserva máxima climática de 100 mm.

- El índice de humedad (I_h): se define como el conjunto de los excesos de agua (Ex ; según un balance hídrico directo con reserva máxima de 100 mm) en porcentaje respecto a la ETP anual, es decir:

$$I_h = 100 \cdot \sum X_i / ETP$$

- El índice de aridez (I_a): se define como el porcentaje de la falta de agua (F) de los distintos meses respecto a la ETP del año, es decir:

$$I_a = 100 \cdot \sum F_i / ETP$$

- El índice de humedad global (I_m): se define como el porcentaje de excesos menos el 60 % del porcentaje de falta de agua, es decir:

$$I_m = I_h - [0,6 \cdot I_a]$$

A partir de estos índices se define el tipo de humedad según las siguientes condiciones:

Tabla N° 129. Condiciones para utilizadas para el cálculo del índice de humedad

TIPO	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN
E	Árido	$-40 \geq Im > -60$
D	Semiárido	$-20 \geq Im > -40$
C ₁	Seco Subhúmedo	$0 \geq Im > -20$
C ₂	Subhúmedo	$20 \geq Im > 0$
B ₁	Húmedo	$40 \geq Im > 20$
B ₂		$60 \geq Im > 40$
B ₃		$80 \geq Im > 60$
B ₄		$100 \geq Im > 80$
A	Perhúmedo	$Im > 100$

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La variación estacional de la humedad da lugar a los siguientes tipos

Tabla N° 130. Tipos de Humedad

TIPO	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN
Solo para los tipos de humedad A, B y C (Perhúmedo, Húmedo y Subhúmedo)		
r	Falta de agua pequeña o nula	$16,7 > Ia \geq 0$
s	Falta de agua estival moderada	$33,3 > Ia \geq 16,7$
w	Falta de agua invernal moderada	$33,3 > Ia \geq 16,7$
S ₂	Falta de agua estival grande	$Ia > 33,3$
W ₂	Falta de agua invernal grande	$Ia > 33,3$
Solo para los tipos climáticos en función de la humedad C₁, D, E (Seco subhúmedo, Semiárido y Árido)		
d	Exceso de agua pequeña o nula	$10 > Ih \geq 0$
s	Exceso de agua estival moderada	$20 > Ih \geq 10$
w	Exceso de agua invernal moderada	$20 > Ih \geq 10$
s	Exceso de agua estival grande	$Ih \geq 20$
w	Exceso de agua invernal grande	$Ih \geq 20$

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Según la evapotranspiración potencial o eficacia térmica (ETP) se definen los siguientes tipos:

Tabla N° 131. Tipos de evapotranspiración potencial o eficacia térmica (ETP), utilizados para definir los tipos de humedad

TIPO	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN
E'	Helada Permanente	$142 \geq ETP$
D'	Tundra	$285 \geq ETP > 142$
C'₁	Microtérnico	$427 \geq ETP > 285$
C'₂		$570 \geq ETP > 427$
B'₁	Mesotérnico	$712 \geq ETP > 570$
B'₂		$855 \geq ETP > 712$
B'₃		$977 \geq ETP > 855$
B'₄		$1140 \geq ETP > 997$
A'	Megatérnico	$ETP > 1140$

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La concentración de la eficacia térmica en el verano se define como el porcentaje de ETP correspondiente a la época de estiaje, es decir:

$ETP_{\text{verano}\%} = 100 * (ETPI+ETPII)/ETP$ y genera los siguientes tipos de concentración estival de la eficacia térmica:

Tabla N° 132. Tipos de concentración estival

TIPO	DESCRIPCIÓN
a'	$48,0 > ETP_{v\%}$
b'	$51,9 > ETP_{v\%} \geq 48,0$
b'	$56,3 > ETP_{v\%} \geq 51,9$
b'	$61,6 > ETP_{v\%} \geq 56,3$
b'	$68,0 > ETP_{v\%} \geq 61,6$
c'	$76,3 > ETP_{v\%} \geq 68,0$
c'	$88,0 > ETP_{v\%} \geq 76,3$
d'	$ETP_{v\%} \geq 88,0$

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En el Mapa N° 29, de acuerdo al índice humedad, se establecen zonas con grandes a nulos excesos de agua, siendo el área con mayores excesos el este y sureste de la microcuenca con valores de índice de humedad entre 202 y 247.

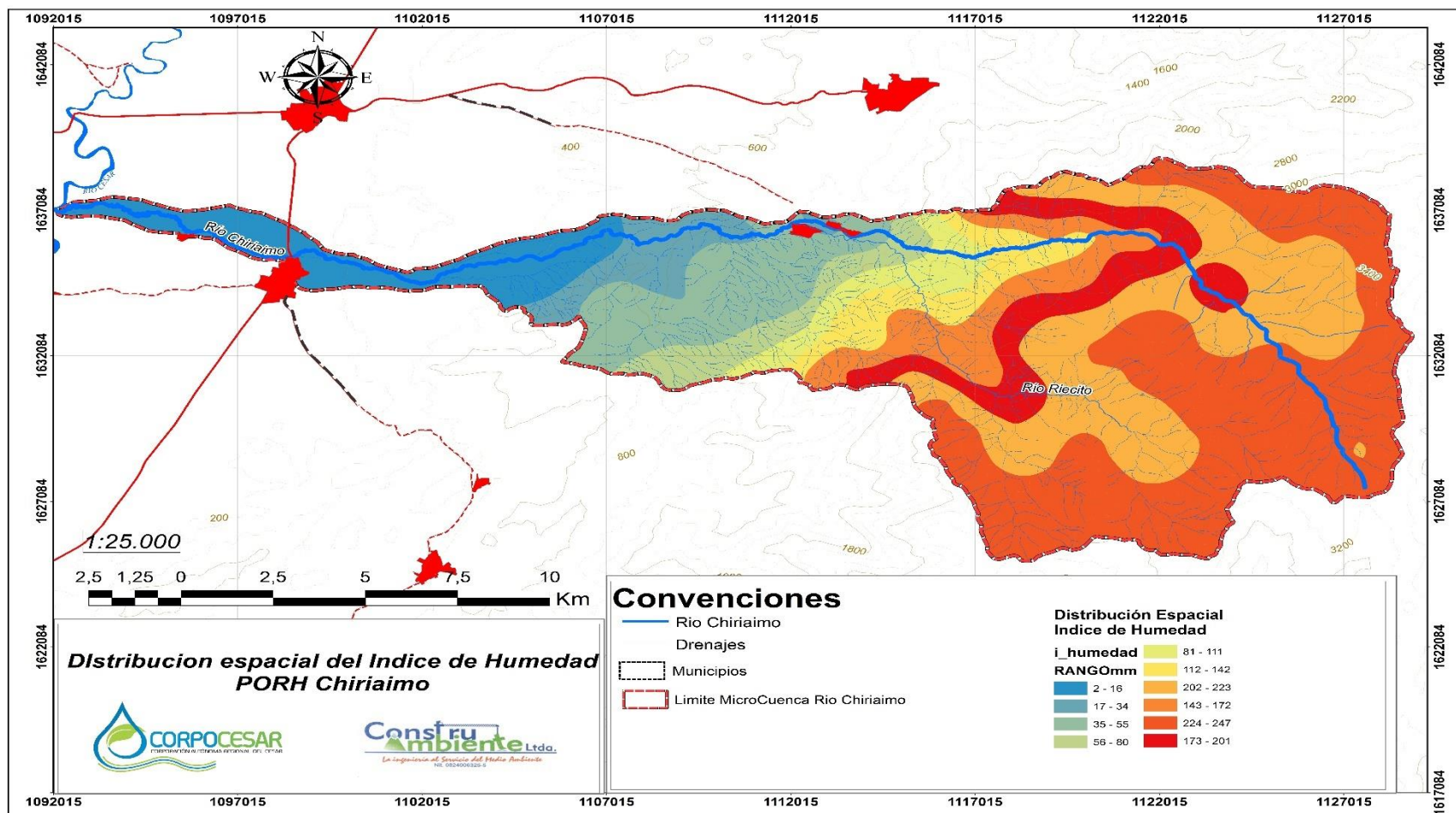
En el Mapa N° 30 se muestra la distribución del índice de aridez en la microcuenca de la corriente hídrica del río Chiriaimo. Las zonas más críticas pertenecen a la zona de planicie de la microcuenca baja del río Chiriaimo, con valores de índice de aridez superiores a 25, que indican falta de agua estival grande "S₂", zona que corresponde al municipio de San Diego una falta de agua estival invernal moderada

“w” en el suelo en la época de estiaje. Correspondiendo a la clasificación de tipos de humedad Subhúmedo, para la zona que corresponde la vereda la Vega.

En el Mapa N° 31 se muestra la variación del índice de humedad global en la microcuenca de la corriente hídrica Chiriamo, distinguiéndose en la microcuenca media, un tipo de humedad global “húmedo”, que corresponde a las franjas 36-60 y 61-92, en esta zona se encuentra el corregimiento de San José de Oriente, localizado en la zona norte de la cuenca.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

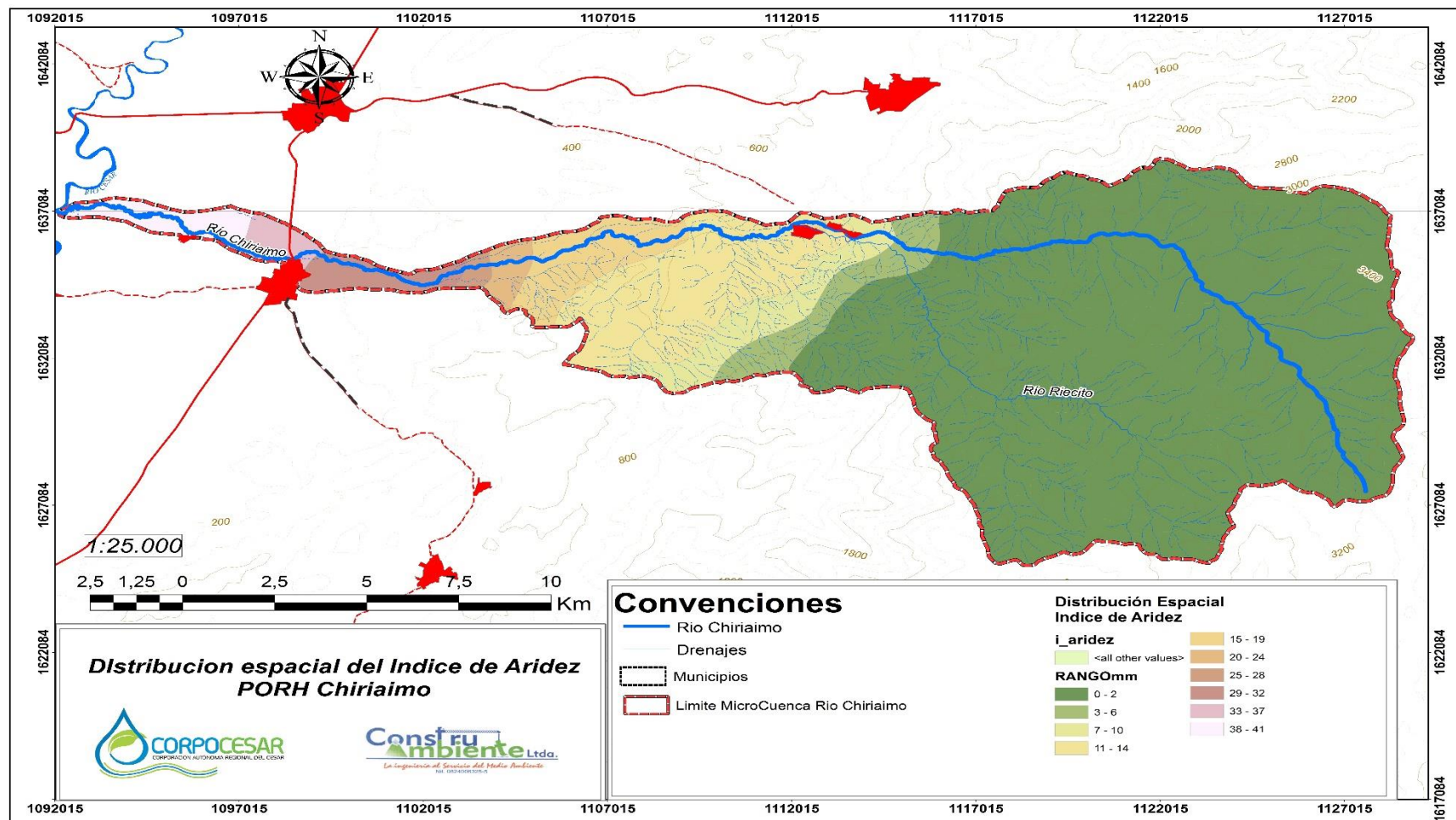
Mapa N° 29. Distribución espacial del índice de humedad lh en la cuenca.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

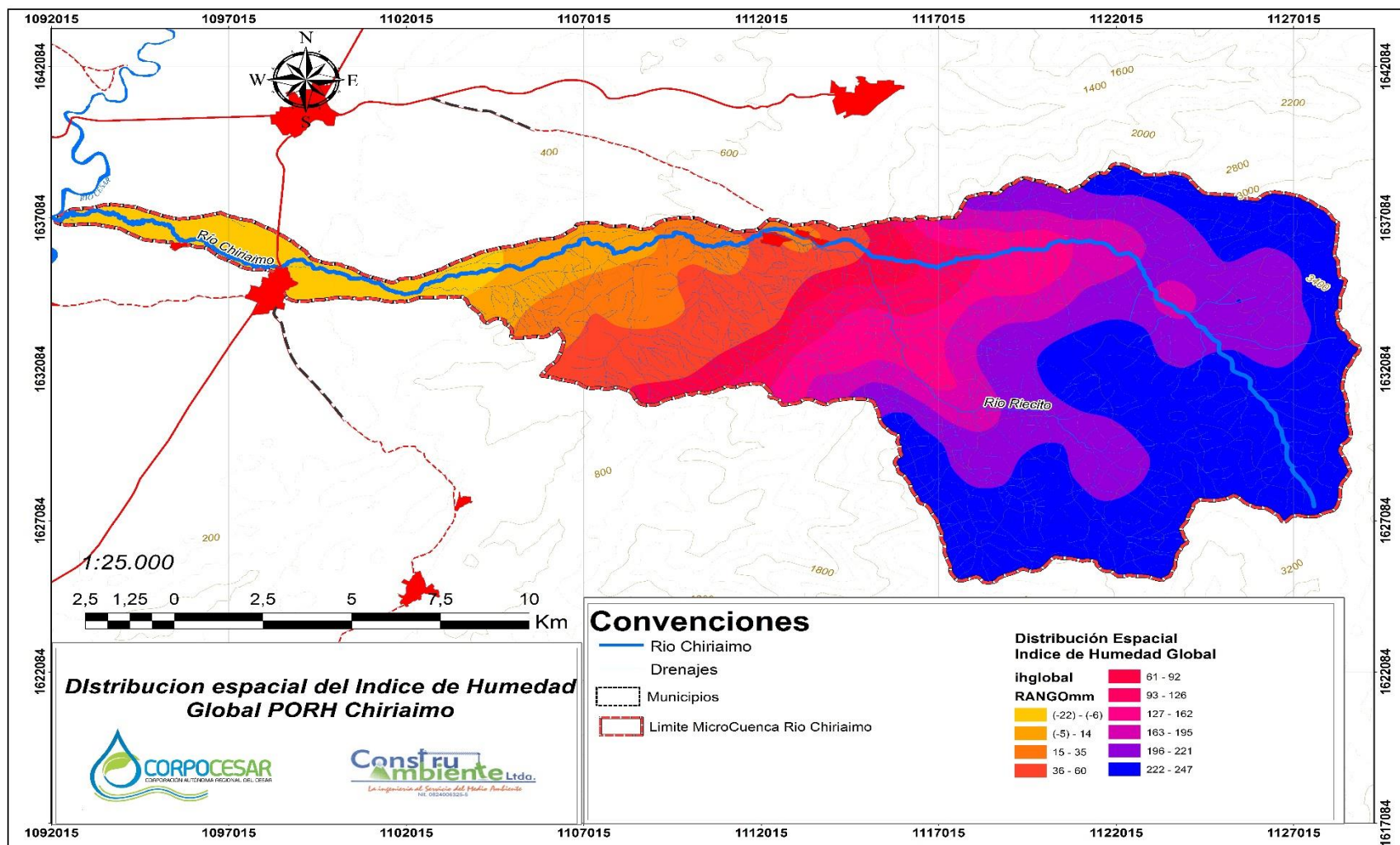
Mapa N° 30. Distribución espacial del índice de aridez (Ia) en la Microcuenca



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 31. Distribución espacial del índice de humedad global (Im) en la Microcuenca



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

En la Tabla N° 133, se distinguen los resultados del balance hídrico realizado para la estación San José de Oriente, identificándose un déficit anual de 274 mm/año, durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, julio y agosto. El almacenamiento de agua en el suelo anual de 267 mm/año, en los meses de octubre, noviembre, diciembre, mayo, junio y septiembre. Tan solo en los meses de mayor precipitación octubre y noviembre se generan algunos excesos de 200 mm/año.

Tabla N° 133. Cálculo del balance hídrico para años con régimen pluviométrico medio.

Estación San Jose de Oriente - Año normal														
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	TOTAL
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (mm)	110,00	105,00	102,00	113,00	102,00	120,00	117,00	117,00	123,00	127,00	122,00	112,00	110,00	1370
PRECIPITACIÓN (mm)	229	146	43	39	22	41	114	170	121	65	94	152	229,00	1237
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	110,00	105,00	102,00	40,00	22,00	41,00	114,00	117,00	123,00	116,00	94,00	112,00	110,00	1096
DÉFICIT	0,00	0,00	0,00	72,00	80,00	79,00	4,00	0,00	0,00	11,00	28,00	0,00	0,00	274
RESERVA	100,0	60,00	60,00	2,00	0,00	0,00	0,00	53,00	51,00	0,00	0,00	40,00	60,00	266
EXCEDENTES	159,00	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	159,00	200

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Para régimen de bajas precipitaciones (el 75% de la media mensual, ver (Tabla N° 134), el período de déficit anual de 686 mm y se extiende de diciembre hasta abril y continúa en junio hasta septiembre; con nulos excesos, y almacenamiento en octubre y noviembre para un total de 112 mm/año.

Tabla N° 134. Calculo del balance hídrico para años con régimen pluviométrico seco.

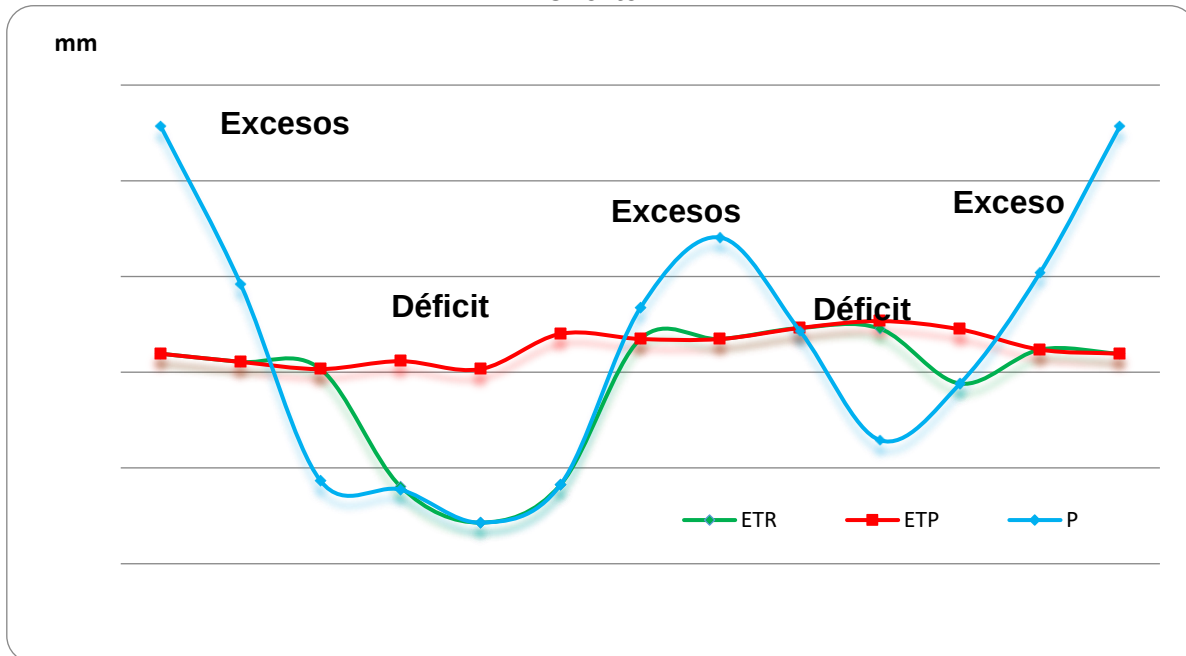
Estación San Jose de Oriente - Año seco														
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	TOTAL
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (mm)	117,00	118,00	125,00	125,00	115,00	151,00	144,00	137,00	139,00	162,00	161,00	138,00	117,00	1632
PRECIPITACIÓN (mm)	172	110	32	29	16	31	100	128	91	48	71	114	171,00	942
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	117,00	118,00	84,00	29,00	16,00	31,00	100,00	128,00	91,00	48,00	71,00	114,00	117,00	947
DÉFICIT	0,00	0,00	41,00	96,00	99,00	120,00	44,00	10,00	48,00	114,00	90,00	24,00	0,00	686
RESERVA	100,0	60,00	52,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	112
EXCEDENTES	94,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,00	94

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En la Grafica N° 42, se visualizan dos fases en comportamiento de la precipitación, para el régimen de precipitación normal, la primera fase corresponde a una época en la que las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial, y otra en la que precipitaciones son menores a la evapotranspiración potencial, por lo tanto la evapotranspiración real se comporta de la siguiente manera, cuando las

precipitaciones son mayores que la evapotranspiración potencial la evapotranspiración real coincide con la potencial. Este caso se presente para los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre seguido de Mayo, Junio.

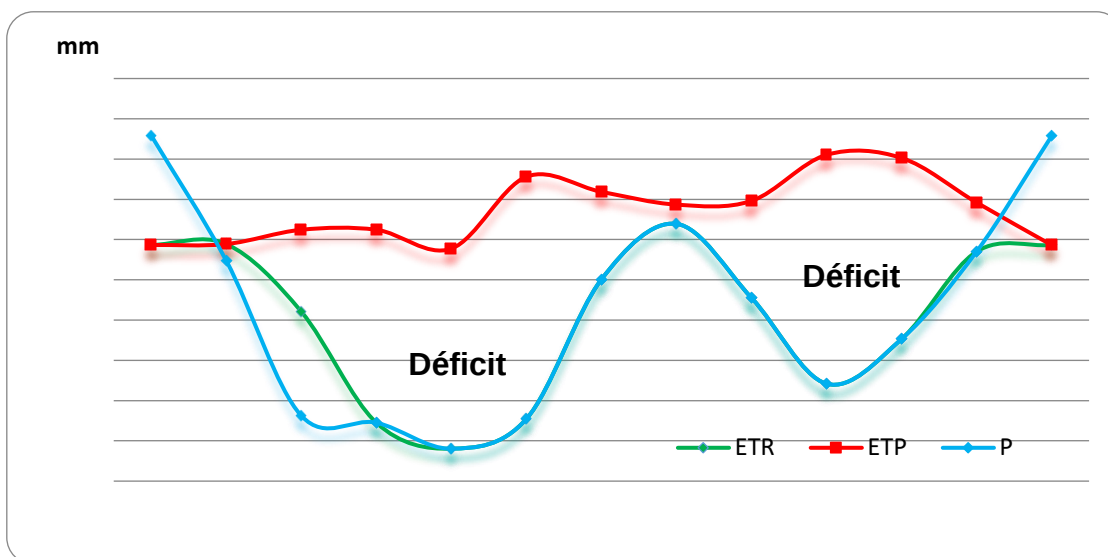
Grafica N° 42. Balance hídrico, régimen de precipitación normal, Estación San José de Oriente.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La Grafica N° 43, muestra el comportamiento para el régimen de bajas precipitaciones representando 75% de la media mensual, distinguiéndose un período de déficit que se extiende de diciembre hasta abril y continúa en junio hasta septiembre; con nulos excesos, y almacenamiento en octubre y noviembre.

Grafica N° 43. Balance hídrico, régimen de precipitación seco, Estación San José de Oriente.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En la se muestran los valores de evapotranspiración anual calculados, según Thornthwaite, Turc y Coutagne.

Tabla N° 135. Valores de evapotranspiración anual calculados.

Régimen	Thornthwaite		Turc	Coutagne
	ETP (mm)	ETPR (mm)		
Normal	1363	1106	759	888
Seco	1633	947	692	745

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

➤ **Índice de Aridez: Metodología IDEAM**

Este índice se obtuvo de acuerdo a la metodología utilizada por el Instituto de Estudios de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente IDEAM, en el Estudio Nacional del Agua (2010), a partir de la siguiente ecuación:

$$I_a = (ETP - ETR) / ETP$$

Donde,

Ia = Índice de aridez

ETP= Evapotranspiración Potencial

ETR= Evapotranspiración Real

Variables hidrológicas calculadas para el balance hídrico de la cuenca. Los indicadores del índice de aridez propuestos por el IDEAM, obedece a las siguientes categorías:

Tabla N° 136. Indicadores índices de aridez. IDEAM

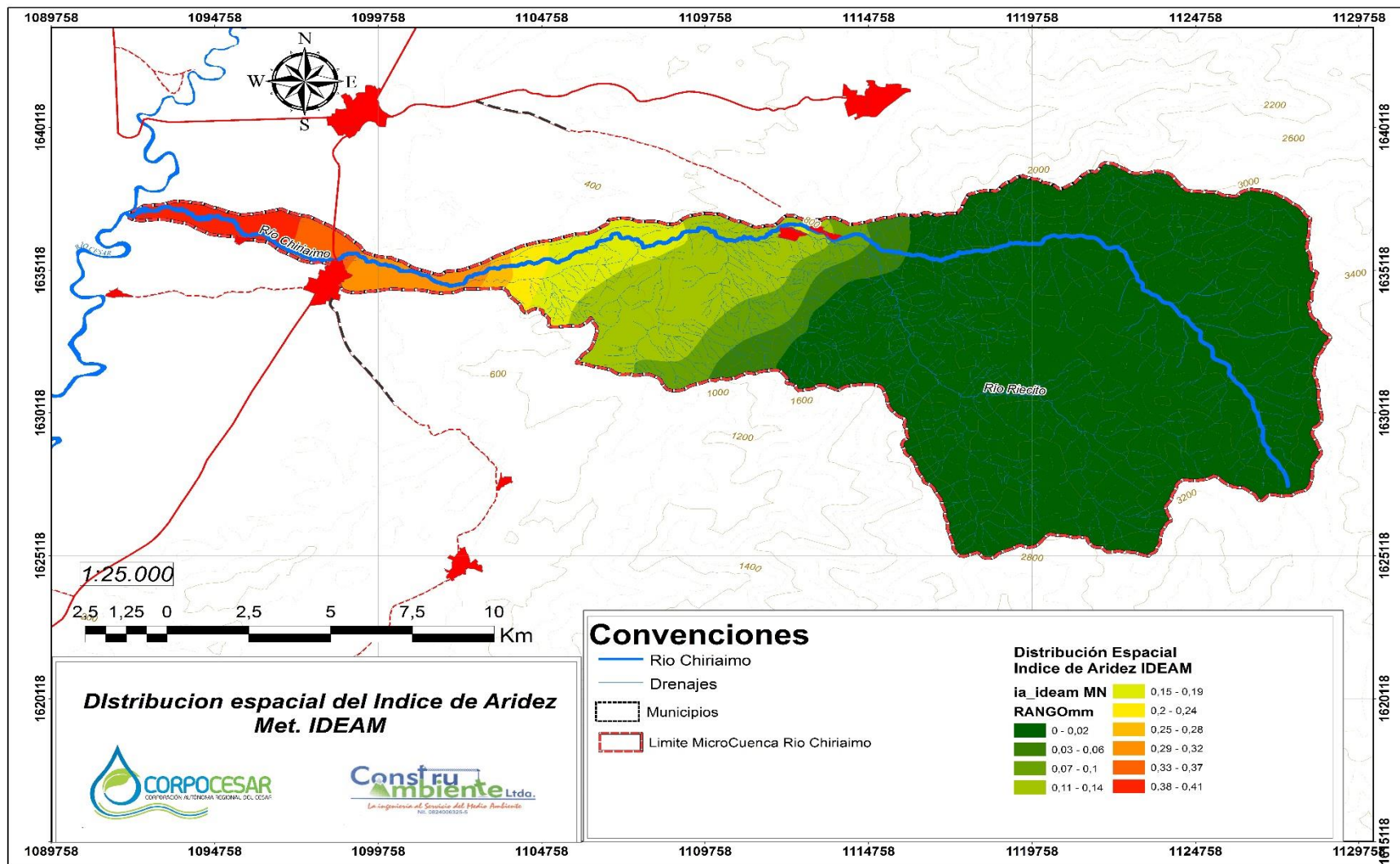
Categoría Índice de aridez	Rango
Cuencas altamente deficitarias de agua	>0.60
Cuencas deficitarias	0.50 – 0.59
Cuenca entre normales y deficitarias	<0.40 – 0.49
Cuencas Normales	0.30 – 0.39
Cuencas normales con excedentes (Categoría adicionada por la consultoría)	0.15 – 0.30

Fuente: IDEAM

En el mapa de índice de aridez, establece para la parte baja de la microcuenca baja del río Chiriaimo, se presentan valores de 0,33 a 0,41, identificándose características de cuencas normales a deficitarias. Las Microcuencas alta y media de las corrientes hídricas en estudio se considera como cuencas con excedentes a cuenca normales a deficitarias, zona media de la cuenca que corresponde a las veredas de las Nubes y La Vega. (Ver Mapa N° 32

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 32. Mapa del índice de aridez, metodología IDEAM en mm/año.



Fuente: PORH Río Chiriamo, 201

2.8.4.2 Conclusiones

- La microcuenca del río Chiriamo posee un área de 217 km², caracterizándose por una microcuenca de tipo exorreica, pertenecer al grupo de microcuenca localizado al margen izquierdo del río Cesar, y poseer una corriente fluvial superficial perenne que escurre sus aguas al río Cesar a la altura de los 100 m. s. n. m, en el municipio de San Diego, condición del tipo de corriente, que cambia en época de sequía al ser afectadas por la demanda de agua de las diferentes actividades socioeconómica que se suscita en la Microcuenca.
- Los valores de forma y de compacidad indican que la cuenca es alargada y muy poco achatada y presentar una menor tendencia a la acumulación de volúmenes de agua, la curva hipsométrica de la cuenca describe una cuenca en fase de equilibrio, geológicamente madura con potencial erosivo sobre la cota 2500 m. s. n. m.
- la microcuenca del río Chiriamo en la parte alta es de forma circular (cerca a la cota de los 1650 m) y en la parte baja es de forma triangular. Lo que indica que es un río que gana rápidamente el agua en su cauce principal (hasta su formación) y que el escurrimiento hasta su desembocadura se da principalmente solo por el cauce principal, el cual está fuertemente influenciado por las actividades agrícolas que se dan a lo largo de la cuenca, especialmente en su parte baja.
- La microcuenca del río Riecito y las subdivisiones de la microcuenca del río Chiriamo (Alta – Media – Baja), se caracterizan por ser cuencas alargadas y presentar un patrón de drenaje subdendríticos a subrectangular y presentar un tipo de relieve moderadamente escarpada para elevaciones superiores a los 650 m. s. n. m.
- La densidad de drenaje es muy alta en la microcuenca de la corriente del río Chiriamo, con un valor de 12.23 km/km², según la clasificación propuesta por Ingeominas, por lo que las eventuales crecientes son de corta duración y de grandes caudales.
- La cuenca del río obedece un patrón de drenaje de tipo subdendrítico a su rectangular, influenciado por el clima y el relieve, presentando para el cauce principal sinuosidad regular en la cuenca alta y media del cauce, a meandrica irregular en la cuenca baja.

- De acuerdo a las características morfométricas, los eventos extremos de lluvias en las cuencas altas del río Chiriaoimo, puede ocasionar desbordamientos eventuales en la cuenca baja, al describir un rápido drenaje de las aguas en las cuencas altas que conllevarían a una concentración alta de caudal en la zona baja de la cuenca.
- Se elaboró el análisis climático el cual se compone de una interpretación de las series históricas obtenidas en el IDEAM a través del uso de gráficas donde se representa la distribución temporal de los elementos del clima considerados. Por otro lado se calculó la evapotranspiración potencial, los balances hídricos climáticos y se establecieron las zonas climáticas que conforman la cuenca.
- Las condiciones climáticas de la cuenca son muy variadas presenta precipitaciones con una distribución bimodal con dos periodos lluviosos y dos secos, suministrada por las estaciones del IDEAM, San José de Oriente, San Diego y Bella la cruz. Presentándose precipitaciones anuales máximas de 1930,2 mm/año y mínimas de 0 mm/año, con respecto a la estación San Jose de Oriente, que es una de las que mayor influencia ejerce en la zona y nos aporta datos para el análisis.
- En la cuenca del río Chiriaoimo, la precipitación media anual es de 1949 mm/año, su variación obedece a un sistema ascendente de occidente a oriente, relacionado a condiciones de relieve y atmosféricas, con variabilidad desde los 1168 a 2305 mm/año.

2.8.5 Análisis de la Oferta Hídrica en la Cuenca del río Chiriaoimo

El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico; son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial.

Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa microcuenca.

Para hacer el cálculo de la oferta hídrica de la microcuenca del río Chiriaoimo, se aplicó la metodología Relación lluvia-escorrentía la cual es aplicable en cuencas menores, es decir cuyas áreas de drenaje sean inferiores a 250 km², cuencas no instrumentadas y en consecuencia no cuentan con registros de caudal para la

estimación de la oferta superficial mensual de acuerdo con la información disponible y características físicas de la microcuenca.

2.8.5.1 Análisis estadístico (ANOVA simple) para las precipitaciones de la microcuenca:

El presente análisis se basa en una técnica de comparación de dos o más grupos que busca determinar la diferenciabilidad de una a otra variable la cual se denominada (factor); este muestra la influencia de la variable climatológica precipitación sobre cada mes del año.

Los datos que se analizaron corresponden a valores de precipitación diaria mensual, cuyas características se basan en los registros suministrados por la estación San José de Oriente, ubicada geográficamente como se muestra en la Tabla N° 137, estos datos fueron aportados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales).

Tabla N° 137. Estación IDEAM utilizada para suministrar información a los puntos Worldclim

ESTACIÓN	TIPO	CORRIENTE	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	COORDENADAS GEOGRAFICAS			
				ELIPSOIDALES		PLANAS	
				Latitud	Longitud	ESTE	NORTE
San José de Oriente	CO	Chiriaimo	850	10° 21'	73° 03'	1636523,84	1112536,20

Fuente: IDEAM

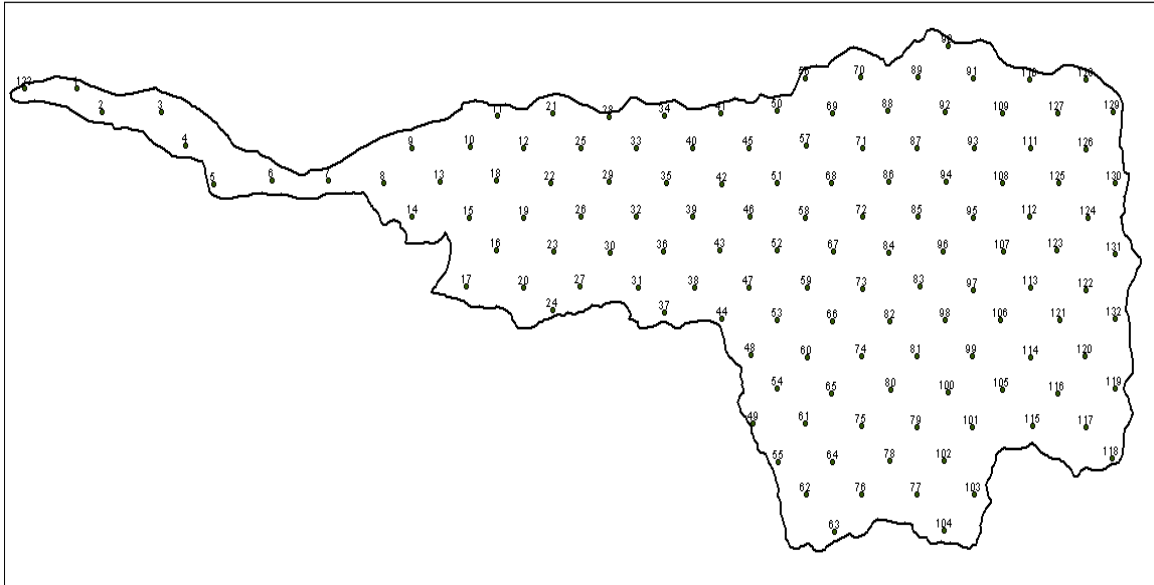
Para el análisis de los valores de precipitación; se realizó un diseño de experimentos de un solo factor categórico, para investigar la influencia de los meses del año sobre la variable climatológica precipitación; es decir, que meses serian homogéneos y conformarían los periodos; tomando como factor los meses, y como variable de respuesta la precipitación.

Debido a que la información suministrada por el ente rector de la climatología en Colombia IDEAM (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia) no es suficiente para caracterizar un evento de lluvia en toda la microcuenca, se determinó como primera instancia del estudio, subdividir la microcuenca del rio Chiriaimo en franjas cuya altura variara en 500 mts; están

**FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL
RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS
DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR**

franjas daban como resultados un espacio entre curvas de nivel influenciado por una grilla de puntos WORDCLIM (software: Diva Gis), los cuales se alimentaron Con la información climatológica arrojada por la estación de información pluviométrica obtenida de la estación San José de Oriente.

Mapa N° 33. Ubicación de puntos de precipitación DIVA – GIS sobre la microcuenca del Río Chiriamo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Después de evaluar la homogeneidad y establecer la ubicación de los puntos de las precipitaciones sobre la totalidad de la microcuenca como se muestra en el Mapa N° 33, se clasifican las franjas se pueden agrupar por rangos de la siguiente forma:

Rango A: franja de terreno cuya altura está entre 125 y 650 mts.

Rango B: franja de terreno cuya altura está entre 650 y 1150 mts.

Rango C: franja de terreno cuya altura está entre 1150 y 1650 mts.

Rango D: franja de terreno cuya altura está entre 1650 y 2150 mts.

Rango E: franja de terreno cuya altura está entre 2150 y 2650 mts.

Rango FG: franja de terreno cuya altura está entre 2650 y 3650 mts.

Teniendo en cuenta la clasificación anterior, se procedió a realizar el diseño estadístico con el fin de estimar cuales franjas del terreno son homogéneas en precipitación y ameriten agruparse.

➤ **Modelo Estadísticos para Homogenizar Franjas**

Análisis: ANOVA simple para valores medios mensuales de precipitación

Variable dependiente: Precipitación

Factor: Niveles

Número de observaciones: 252

Número de niveles: 12

Tabla N° 138. Resumen Estadístico para Precipitación.

	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variation	Minimum	Maximum	Range
ENERO A	21	6,12857	0,591729	9,65525%	5,3	7,0	1,7
FEBRERO A	21	7,91905	2,09275	26,4268%	3,9	9,8	5,9
MARZO A	21	8,0381	0,635984	7,91213%	6,8	8,9	2,1
ABRIL A	21	14,1905	2,60709	18,3721%	9,8	17,9	8,1
MAYO A	21	15,0	1,114	7,42668%	13,4	16,8	3,4
JUNIO A	21	13,819	0,340028	2,46057%	13,1	14,2	1,1
JULIO A	21	9,65238	0,677952	7,02368%	8,3	10,4	2,1
AGOSTO A	21	9,26667	0,373274	4,02813%	8,5	9,8	1,3
SEPTIEMBRE A	21	11,0476	0,466497	4,2226%	10,6	11,9	1,3
OCTUBRE A	21	14,8	2,26053	15,2739%	12,4	19,0	6,6
NOVIEMBRE A	21	11,3286	2,11143	18,6381%	9,1	15,2	6,1
DICIEMBRE A	21	7,6619	1,37349	17,9262%	5,6	9,8	4,2
Total	252	10,7377	3,29988	30,7317%	3,9	19,0	15,1

	Std. skewness	Std. kurtosis
ENERO A	0,427777	-1,14846
FEBRERO A	-1,6903	-0,748827
MARZO A	-1,73854	-0,253066
ABRIL A	-0,783491	-1,08882
MAYO A	0,518257	-1,08996
JUNIO A	-1,93103	-0,305896
JULIO A	-1,39837	-0,725445
AGOSTO A	-0,913535	-0,357619
SEPTIEMBRE A	1,33001	-0,989703
OCTUBRE A	1,11684	-0,888397
NOVIEMBRE A	1,15149	-1,01605
DICIEMBRE A	-0,22181	-1,20769
Total	1,93645	-2,18888

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles (ENERO A, FEBRERO A, MARZO A, ETC.) A continuación mostramos el resultado arrojado para dichas variables en el ANOVA:

Tabla N° 139. ANOVA para la precipitación del mes de enero.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2222,01	11	202,001	94,84	0,0000
Within groups	511,179	240	2,12991		
Total (Corr.)	2733,19	251			

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

En la Tabla N° 139 se descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 94.84, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es igual a 0, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Precipitación entre un nivel y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

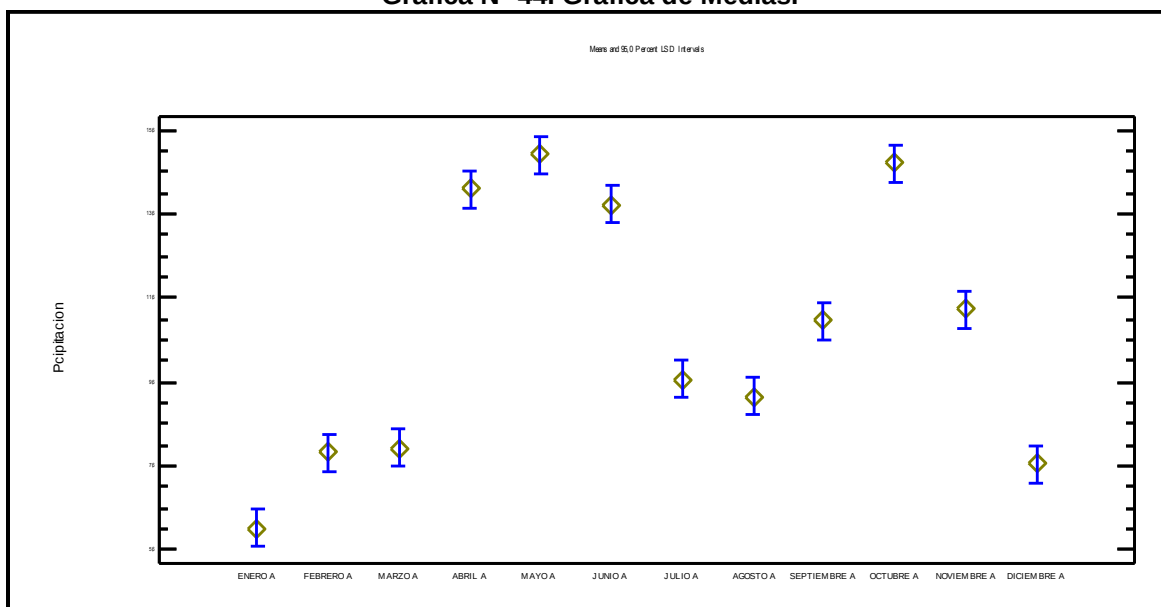
Tabla N° 140. Medias de Precipitación con intervalos de confianza del 95.0%

			<i>Std. error</i>		
	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>(pooled s)</i>	<i>Lower limit</i>	<i>Upper limit</i>
ENERO A	21	6,12857	0,318472	5,68496	6,57218
FEBRERO A	21	7,91905	0,318472	7,47544	8,36266
MARZO A	21	8,0381	0,318472	7,59449	8,4817
ABRIL A	21	14,1905	0,318472	13,7469	14,6341
MAYO A	21	15,0	0,318472	14,5564	15,4436
JUNIO A	21	13,819	0,318472	13,3754	14,2627
JULIO A	21	9,65238	0,318472	9,20877	10,096
AGOSTO A	21	9,26667	0,318472	8,82306	9,71028
SEPTIEMBRE A	21	11,0476	0,318472	10,604	11,4912
OCTUBRE A	21	14,8	0,318472	14,3564	15,2436
NOVIEMBRE A	21	11,3286	0,318472	10,885	11,7722
DICIEMBRE A	21	7,6619	0,318472	7,2183	8,10551
Total	252	10,7377			

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La Tabla N° 140 muestra la medida de Precipitación para cada franja en todos los meses; también muestra un error estándar de cada medida, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo; en la tabla también se observa un intervalo alrededor de cada medida, estos intervalos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher y están construido de tal manera, que si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95% de las veces. Las siguientes gráficas visualizan de mejor forma los resultados para la similitud de lluvias entre las franjas en todos los meses; para esto se tienen: gráficos de medidas, gráficos de caja y bigotes.

Grafica N° 44. Gráfica de Medias.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 141. Pruebas de múltiples rangos para la precipitación

	Count	Mean	Homogeneous Groups
ENERO A	21	6,12857	X
DICIEMBRE A	21	7,6619	X
FEBRERO A	21	7,91905	X
MARZO A	21	8,0381	X
AGOSTO A	21	9,26667	X
JULIO A	21	9,65238	X
SEPTIEMBRE A	21	11,0476	X

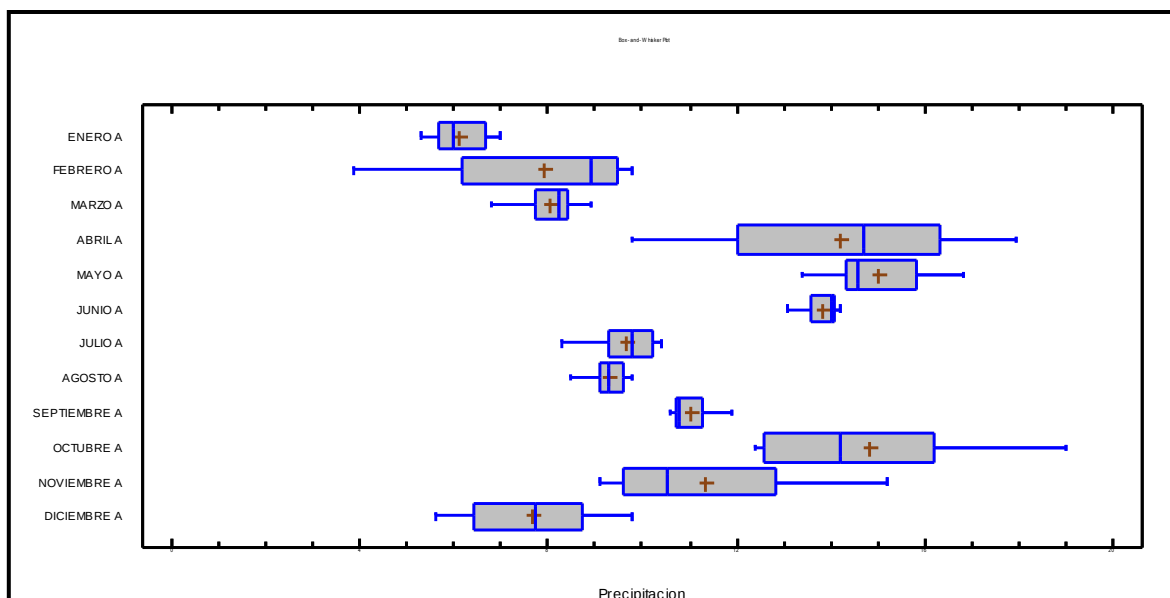
NOVIEMBRE A	21	11,3286	X
JUNIO A	21	13,819	X
ABRIL A	21	14,1905	XX
OCTUBRE A	21	14,8	X
MAYO A	21	15,0	X

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Cabe resaltar que para agrupar los meses por periodos aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, el programa usa la opción “localizar” fijando una línea que toca los meses similares en magnitud, información que se complementa con el análisis de la gráfica de caja y bigotes la cual a partir de los cuartiles de precipitación de cada mes permite afianzar la agrupación des estos.

Por otra parte en la Tabla N° 141 prueba de múltiples rangos, se han identificado grupos homogéneos según la alineación de las X (indican si son semejantes en magnitud), es decir que los meses que comparten una columna de x corresponden a un período u otro.

Grafica N° 45. Gráfica de caja y bigotes.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 142. Verificación de Varianza.

	<i>Test</i>	<i>P-Value</i>
Levene's	11,7975	0

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

El estadístico mostrado en la anterior tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Precipitación dentro de cada uno de los 12 Niveles es la misma.

De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel de confianza del 95,0%.

A partir de la Grafica N° 44, Grafica N° 45 y la tabla de múltiples rangos, dentro de la franja A tenemos la siguiente distribución de periodos:

Periodo 1: enero

Periodo 2: febrero, marzo y diciembre

Periodo 3: agosto y julio

Periodo 4: septiembre y noviembre

Periodo 5: abril, mayo, junio y octubre

Siguiendo el procedimiento lógico descrito anteriormente se construyen las pruebas estadísticas de los grupos B, C, D, E y FG obteniendo entre sus resultados una separación dispersa (no se observan grupos definidos) de sus grupos, es decir:

Periodo 1: Enero

Periodo 2: Febrero

Periodo 3: Marzo

Periodo 4: Abril

Periodo 5: junio

Periodo 6: julio

Periodo 7: diciembre

Periodo 8: Septiembre

Periodo 9: mayo, agosto, octubre y noviembre

Cabe resaltar que los meses del periodo 9 son los considerados lluviosos, según los registros pluviométricos arrojados por el software; así mismo dentro de las tablas y graficas de resultados se encuentra terminología en ingles debido a que se utilizó la versión 16 centuriones del statgrapichs. Para verificar los resultados y cálculos aplicados (Ver archivo digital, Estadístico)

➤ Agrupación de precipitaciones por mes

Luego de haber determinado cada uno de los periodos mediante el modelo estadístico de ANOVA SIMPLE (capítulo anterior), se ordenan los registros de precipitaciones de cada mes así:

Período 1: valores de precipitación del mes o los meses correspondientes a este Período

Período 2: valores de precipitación del mes o los meses correspondientes a este Período

Período 3: valores de precipitación del mes o los meses correspondientes a este Período

Se debe tener presente que el orden descrito arriba se aplica para todos los periodos determinados en el análisis estadístico. Se toman los valores de cada uno de los periodos y se ordenan como lo muestra la Tabla N° 143

Tabla N° 143 . Precipitaciones por periodos

PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3
5,3	6,8	6,8
5,3	7,0	7,0
5,7	7,1	7,1
5,7	7,5	7,5
6,0	7,7	7,7
6,3	8,0	8,0
6,7	8,2	8,2
7,0	8,4	8,4
7,0	8,2	8,2
6,7	8,4	8,4
6,3	8,2	8,2
6,3	8,4	8,4
7,0	8,4	8,4
7,0	8,4	8,4
5,7	8,6	8,6
5,7	8,8	8,8
5,7	8,9	8,9
6,3	8,4	8,4
5,7	8,2	8,2
6,0	8,4	8,4

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Para efectos explicativos vamos a asumir que los valores mostrados en la Tabla N° 143, reúnen los datos totales del registro pluvial de los periodos, Con estos registros

se procede a utilizar el modelo de GUMBEL para determinar las precipitaciones máximas representativas en los tiempos de retorno: 2, 25, 50, 100, 250 y 500 años.

2.8.5.2 Análisis de resultados

En este capítulo se analizaron los registros de precipitaciones para cada punto del WORDCLIN basados en la influencia de las estaciones IDEAM, a partir de los datos de precipitaciones medias mensuales, bajo los cuales se construyó una serie de pruebas para comparar los valores de lluvia en los 12 meses del año. Con las pruebas estadísticas se llegan a establecer los periodos secos, ocasionales y lluviosos.

Para el análisis estadístico realizado fueron procesados los datos de lluvias en el software estadístico Statgraphics; de acuerdo con los resultados arrojados por este, se obtiene 9 periodos cada uno caracterizado por las lluvias representativas de cada mes del año; influyendo esto de forma directa en la formación de escorrentías superficiales (flujo – caudal) para el rio Chiriaimo.

2.8.5.3 Curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF)

Las curvas I D F son la representación gráfica entre la intensidad y la duración de uno o varios eventos de precipitación (lluvias) que a su vez muestran la periodicidad con la que estos pueden ocurrir. Para elaborar las curvas de intensidad, se parte inicialmente del registro de precipitaciones analizado mediante el modelo estadístico de GUMBEL el cual se explicará más adelante. (Ver: Estadístico; hojas de cálculo). A continuación se describe de forma somera el procedimiento lógico para la elaboración y construcción de las curvas IDF:

Los periodos de retorno son el tiempo esperado o tiempo medio entre dos o más sucesos improbables, cuya característica principal es mostrar parámetros similares a los datos analizados (magnitud de las lluvias), estos permiten dar una idea sobre el tiempo en que puede ocurrir o proyectar un evento similar.

2.8.5.4 Modelo estadístico de GUMBEL

Es una distribución de probabilidad utilizada para determinar los valores máximos aleatorios de una población, la cual es utilizada para determinar la probabilidad de ocurrencia de una precipitación igual o mayor a la calculada por este método.

$$P = P(x \leq x_i)$$

$$P = e^{-e^{-y_j}} \quad \text{Donde } y_j \text{ es la variable reducida.}$$

$$y_i = a \cdot (x_i - x_f) \quad x_f = X - S \cdot \frac{Y_n}{S_n}$$

Donde

X= es el promedio de la muestra

S= es la desviación estándar de la muestra

x_i es el dato que se espera que se repita con la probabilidad P.

Y_n y S_n = son la media y la desviación estándar de la variable reducida.

El modelo sirve para determinar los valores máximos de precipitación en los tiempos de retorno mencionados anteriormente. Los datos mostrados en la Tabla N° 144 se consignan en la hoja de cálculo armada para realizar el estadístico de gumbel (ver: Estadístico; hoja de cálculo MATHCAD; gumbel periodos). De los cálculos relacionados anteriormente se tiene:

Los resultados de GUMBEL para cada uno de los periodos se muestran en sus respectivas hojas de cálculo. (Software: Mathcad)

Se procede a elaborar las gráficas de intensidad y duración, para estas se utilizan intervalos de tiempo de 15 minutos. Como resumen de las hojas de cálculo tenemos la Tabla N° 144.

Tabla N° 144. Parámetros de entrada para las curvas IDF (intensidad - duración - frecuencia).

Periodos de Retorno	Probabilidad	Precipitación (mm)	Intensidad Media	Parámetro
2	0,500	11,00	3,67	0,226
25	0,960	20,20	6,73	0,273
50	0,980	22,50	7,50	0,285
100	0,990	24,80	8,27	0,296
250	0,996	27,80	9,27	0,312
500	0,998	30,00	10,00	0,323

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

A partir de los resultados de Gumbel y la Tabla N° 144 , se construyen las curvas teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Columna Períodos de Retorno, son los especificados en los términos de referencia (2, 25, 50 y 100 años).
- La Columna de *Probabilidad* se calcula mediante la ecuación:

$$Probabilidad = 1 - \frac{1}{Periodos\ de\ retorno}$$

- columna de precipitación viene dada por Los resultados de los valores extremos por Gumbel para los distintos periodos homogéneos y niveles de lluvias que se encuentran en la Tabla N° 144.
- Los valores de intensidad media se calculan dividiendo la precipitación entre la duración de la lluvia que en este caso es de 3 horas.

El parámetro “n” viene dado por la intensidad de la lluvia en la Tabla N° 145 de la Agencia Estatal de Meteorología – AEMET España.

Tabla N° 145. Parámetro n dependiente de la intensidad de las lluvias¹.

INTENCIDAD (mm)	n
Débiles: cuando su intensidad es <=2 mm/h	0.0-0.2
Moderadas: >2 mm/h <=15 mm/h	0.2-0.4
Fuertes: >15 mm/h y <=30 mm/h	0.4-0.6
Muy fuertes: >30 mm/h y <=60 mm/h	0.6-0.8
Torrenciales: >60 mm/h	0.8-1.0

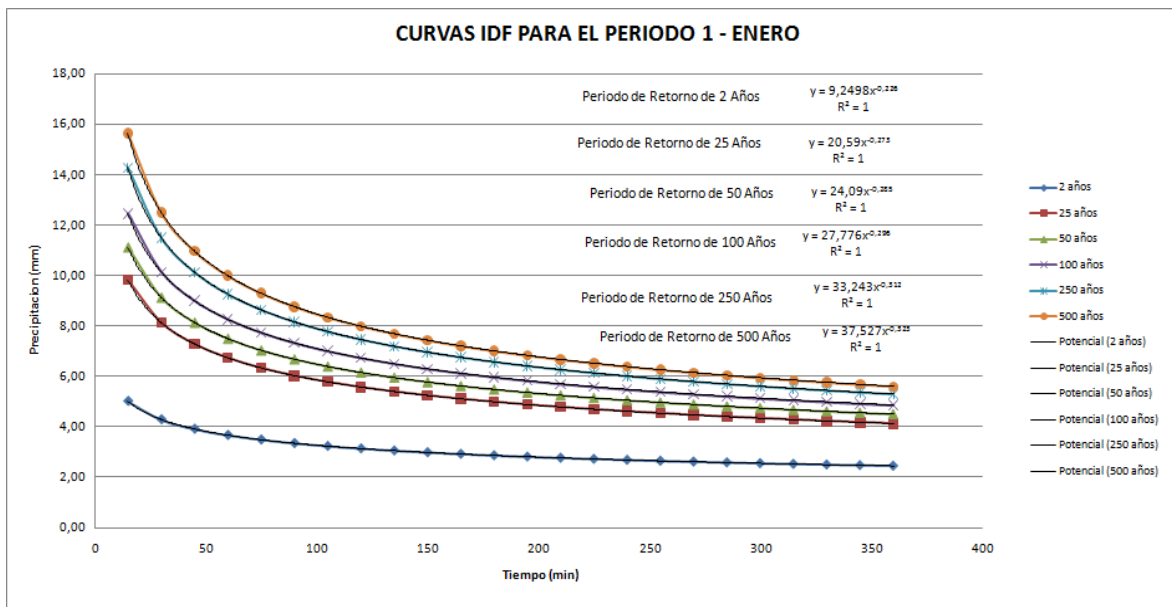
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Así mismo se ven dos valores resaltados en color rojo, estos indican el intervalo de valores que se analizan en las tras horas de duración del evento; Se estudian los periodos de retorno de 2 y 25 años debido a que estos son los tiempos próximos en los que se pueden presentar un evento de precipitación con características muy similares o iguales a las presentadas en cada curva IDF.

A continuación se muestran las curvas IDF para el periodo al mes de Enero y los Hietogramas para los tiempos de retorno de 2 y 25 años.

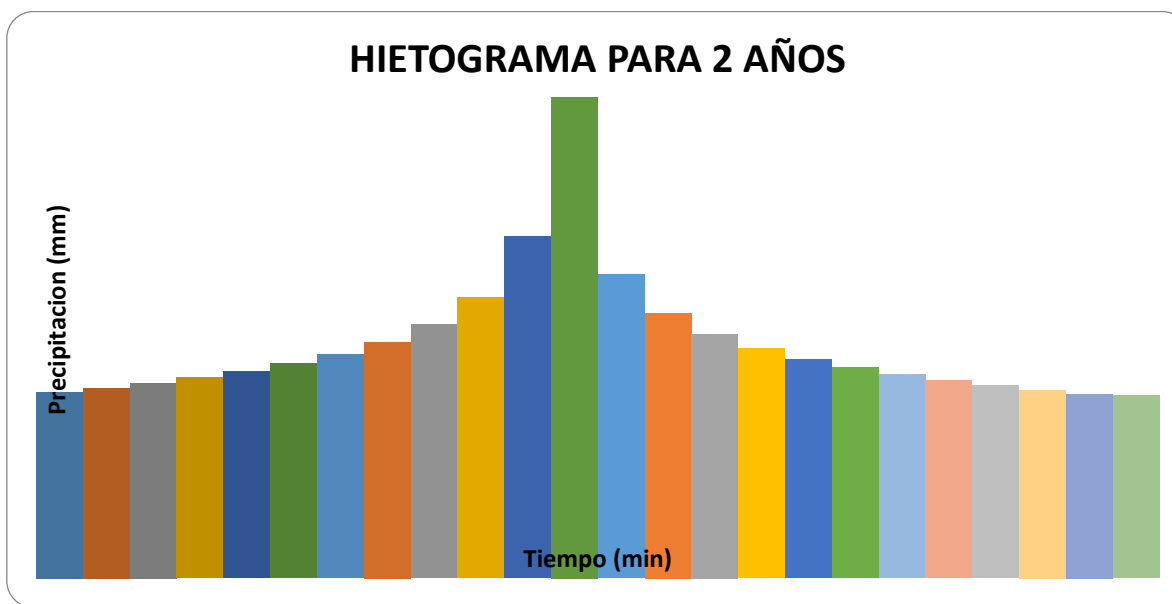
Los Hietogramas se elaboraron con base en la metodología de bosques que discriminan las precipitaciones de tal forma que se divide desde un valor máximo (pico) y dan a conocer el comportamiento de las lluvias.

Grafica N° 46. Curva IDF para el 1 periodo



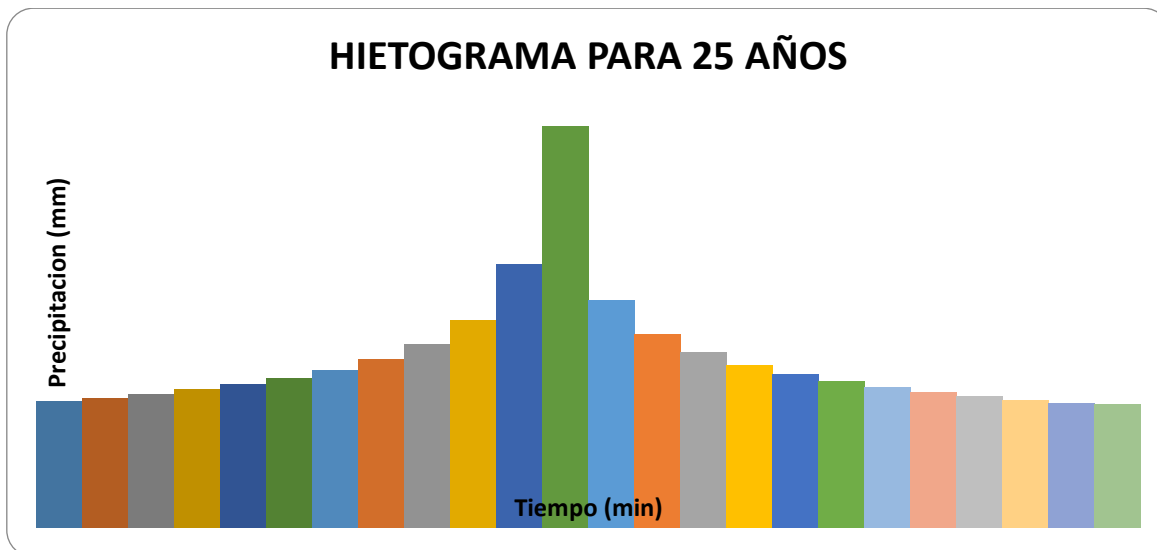
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Grafica N° 47. Hietograma para el periodo 1 con Tr de 2 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Grafica N° 48. Hietograma para el periodo 1 con Tr de 25 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Para llevar a cabo la modelación hidrológica de estos hietogramas se escogieron los datos de las 3 horas centradas; las gráficas para los periodos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, y 12 mencionados en el modelo estadístico para homogeneizar los meses y sus meses respectivos se pueden verificar en las memorias de cálculo. (Ver: archivo digital, Curvas IDF).

2.8.5.5 Caracterización física e hídrica de la microcuenca del río Chiriamo

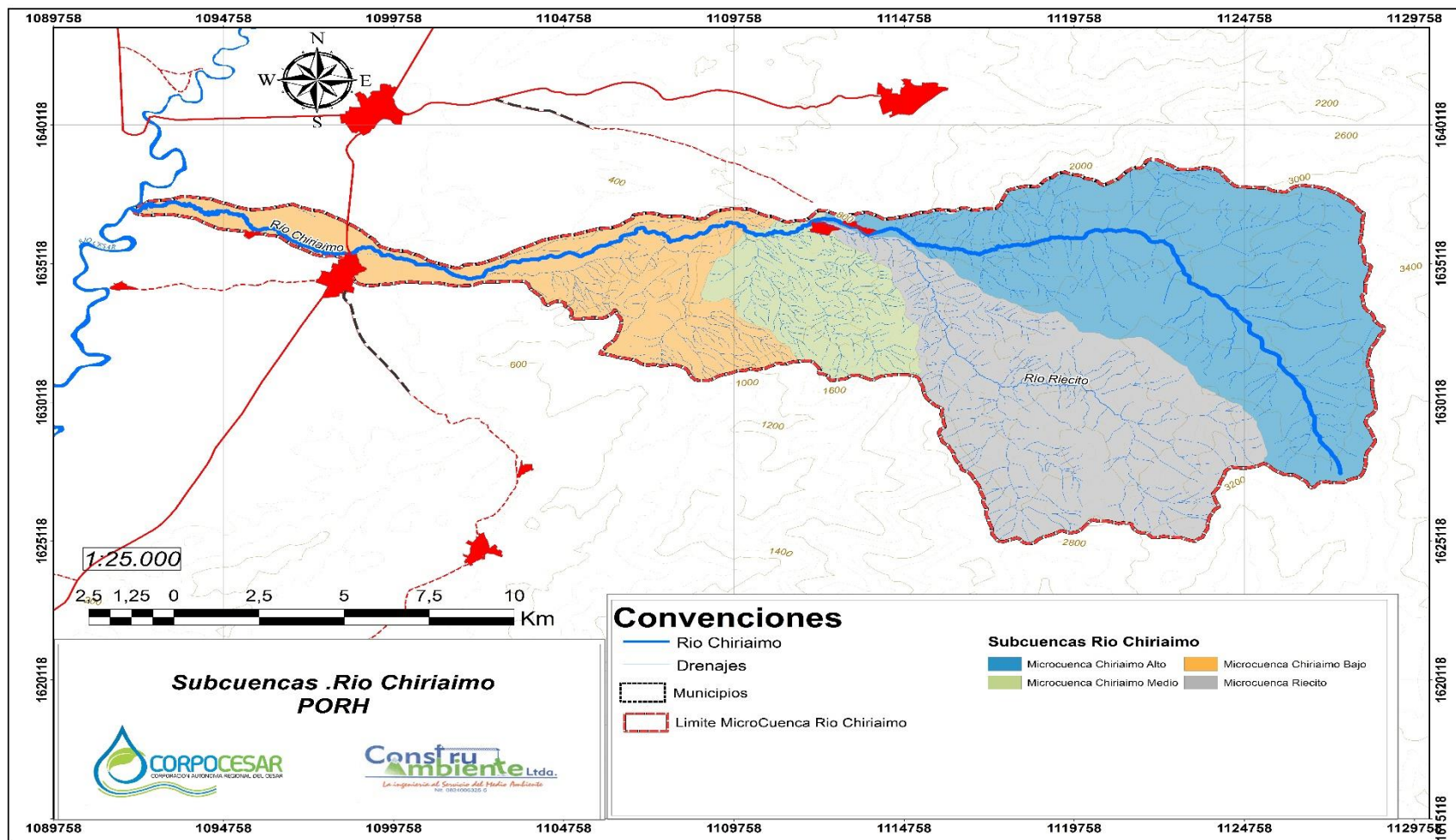
➤ Morfometría

El análisis morfométrico de la microcuenca es fundamental para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico así como para inferir indirecta y cualitativamente sobre su estructura; Cada una de las cuencas que cubren el área de estudio sobre el río cesar presentan estipuladas condiciones físicas e hídricas, que determinan una serie de parámetros bajo los cuales se obtiene el análisis y que a su vez presenta una relación directa con el proceso de transformación de las precipitaciones en caudales de escorrentía.

Para tal efecto se requiere conocer las características físicas de la red de drenaje de cada una de la microcuenca en estudio como: las longitudes de los drenajes principales y de los valles de inundación, las áreas, sus perímetros, etc. Cuyo fin es definir de forma clara y específica las condiciones hídricas y morfodinámicas de cada microcuenca

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 34. Identificación de las microcuenca con las que cuenta el rio Chiriaimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Para facilitar el análisis físico e hídrico de la microcuenca del río Chiriaimo se dividió en cuatro microcuencas: microcuenca Riecito, alta, media y baja, cada una de estas fueron estudiadas bajo los parámetros establecidos en el componente climatológico del presente documento; a continuación se muestra en la tabla las características físicas de cada zona

Tabla N° 146. Características físicas de cada una de las Microcuencas (obtenidos por el componente climatológico) de la microcuenca del río Chiriaimo.

MICROCUEENCA	Área (Km2)	Área (Ha)	Pendiente Pro.	Pendiente Pro. Cauce	Long cauce (m)	Perímetro (m)	Long Drenajes (m) incluyendo principal	Long valle (m)
Riecito	67,21	6721	55,56%	13,41%	15259	42042	2990436	17,59
Chiriaimo Alto	84,37	8437	53,41%	11,11%	21595	49494	169535	20,33
Chiriaimo Medio	23,60	2360	43,38%	14,95%	2430	21645	62731	7,86
Chiriaimo Bajo	43,05	4305	20,94%	1,78%	21919	53353	104002	20,28
TOTAL	218,23	21823			61203	166534	3326704	66,06

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Con los registros mostrados en la Tabla N° 146 y con la formulación presentada a continuación se calcularon parámetros como: factores de forma, índice de Gravelius, entre otros, que dan una idea somera de la forma como se comportaría la microcuenca bajo un evento de precipitación, los valores resultantes se describen a continuación en la Tabla N° 147

Tabla N° 147. Resultados físicos de cada Microcuenca

MICROCUEENCA	Ind Gravelius	Factor de forma	Densidad drenaje	Lon flujo superficial	Sinuosidad
Riecito	1,446	0,289	44,49	0,01	1,05
Chiriaimo Alto	1,520	0,181	2,01	0,12	1,08

Chiriaimo Medio	1,257	3,997	2,66	0,09	1,06
Chiriaimo Bajo	2,293	0,090	2,42	0,10	1,25

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.8.5.6 Número de Curva (CN)

Cada una de las Microcuencas que se encontraron en la microcuenca completa del río Chiriaimo, presenta diferentes condiciones de humedad antecedente, partiendo de esta apreciación se determina el número de curva de escorrentía con los porcentajes de vegetación, tipo de suelo y la Condición Hidrológica de cada una de las Microcuencas.

- Clasificación del Suelo:
 - a. Bajo potencial de escorrentía: Suelos que tienen alta tasa de infiltración aun cuando estén muy húmedos.
 - b. Moderadamente bajo potencial de escorrentía: Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos, moderadamente profundos a profundos, bien drenados.
 - c. Moderadamente alto potencial de escorrentía: Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo.
 - d. Alto potencial de escorrentía: Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente.

2.8.5.7 Uso y Tratamiento del Suelo:

El efecto de la condición superficial sobre la cuenca hidrográfica se evalúa por medio de las clases de tratamiento y uso del suelo. El uso del suelo pertenece a la cobertura de la cuenca, incluyendo todo tipo de vegetación, humus vegetal, tierras en descanso (suelo limpio), así como usos no agrícolas, como superficies de agua (lagos, ciénagas y otras), superficies impermeables (camino, techos, etc.), y áreas urbanas.

2.8.5.8 Condición Hidrológica

Una condición hidrológica pobre corresponde a menos del 50 por ciento de área cubierta y alta intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica aceptable corresponde al 50 a 75 por ciento del área cubierta y media intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica buena corresponde a más del 75 por ciento del área cubierta y ligera intensidad de pastoreo. La condición hidrológica para los bosques se determina visualmente como sigue

- Pobre – densamente pastado o bosques regularmente quemados, con pocos arbustos y muy pequeña cantidad de humus vegetal.
- Aceptable – con pastos pero no quemados, con algunos arbustos y moderada cantidad de humus vegetal.
- Buena – protegidos con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

Existen 3 niveles de Humedad Antecedente.

Condición de Humedad Antecedente (AMC)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)
I	0 - 3,30
II	3,50 - 5,25
III	más de 5,25

Nota: Este cuadro fue desarrollado utilizando datos del occidente de los Estados Unidos. Por consiguiente, se recomienda tener cautela al emplear los valores suministrados en este cuadro para determinar la condición de humedad antecedente en otras regiones geográficas o climáticas. La precipitación acumulada de los cinco días previos al evento en consideración es para épocas de crecimiento de las plantas.

A partir de la siguiente tabla se determinó el número de curva para cada microcuenca:

Tabla N° 148 Numero de curva de escorrentía para tierras cultivadas.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Uso de la Tierra	COBERTURA		GRUPO DE SUELOS			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	71	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
Pastos de pastoreo	---	Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Patios		---	59	74	82	86
Camino de Tierra		---	72	82	87	89
Pavimentos		---	74	84	90	92

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La curva de escorrentía se determina para cada una de las Microcuencas a partir de los datos tomados de la Tabla N° 148 mediante el porcentaje de cobertura vegetal de cada una de ellas.

Los porcentajes de coberturas de cada Microcuenca se obtiene a partir del análisis de imágenes spot, cobertura vegetal entregada por el SIG (sistema de información geográfica), dando como resultado lo mostrado en las tablas anteriores.

A sí mismo en estas encontramos la condición de humedad CN I Y III las cuales se obtienen bajo la formulación matemática que sigue:

Condición CN II:

$$CN = \%de\ bosques * CN_{Bosques} + \%de\ Pastos * CN_{Pastos}$$

A partir del parámetro calculado (CN II) se determinan las condiciones de humedad antecedente CN I y CN III de la siguiente manera:

Condición CN I:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

Condición CN III:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

**Tabla N° 149. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la
Microcuenca Riecito**

Tipo de suelo	cubierta	hectareas	% cubierto	CN tabla	CN II	CN I	CN III
C	Rastrojos	1637,1	24,36	91	82	66	91
	Pastos	2914,6	43,36	79			
	Bosques	1317,3	19,60	73			

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

	Suelo desnudo	703,5	10,47	87			
	N.N.	148,61	2,21	87			
	Total	6721,1	100,00				
Abs Max					57	130	24
La (mm)					11	26	5

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 150. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la Microcuenca Alta

Tipo de suelo	cubierta	hectareas	% cubierto	CN tabla	CN II	CN I	CN III
C	Rastrojos	2029,0	24,05	91	82	66	91
	Pastos	2843,3	33,70	79			
	Bosques	2219,2	26,30	73			
	Suelo desnudo	1218,3	14,44	87			
	N.N.	127,23	1,51	87			
	Total	8437,0	100,00				
Abs Max					57	132	25
La (mm)					11	26	5

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 151. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la Microcuenca Media

Tipo de suelo	cubierta	hectareas	% cubierto	CN tabla	CN II	CN I	CN III
B	Rastrojos	555,0	23,55	86	73	54	86
	Pastos	1333,9	56,61	69			
	Bosques	308,2	13,08	60			
	Suelo desnudo	124,6	5,29	82			
	N.N.	34,65	1,47	82			

	Total	2356,3	100,00				
			Abs Max	95	219	41	
			La (mm)	19	44	8	

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

**Tabla N° 152. Cobertura vegetal y condición de humedad CNI, CNII Y CNIII para la
Microcuenca Baja**

Tipo de suelo	cubierta	hectareas	% cubierto	CN tabla	CN II	CN I	CN III
A	Rastrojos	410,5	9,53	77	53	33	72
	Pastos	3556,5	82,60	49			
	Bosques	62,0	1,44	36			
	Suelo desnudo	276,6	6,42	72			
	N.N.	0,00	0,00	72			
	Total	4305,6	100,00				
			Abs Max		226	519	97
			La (mm)		45	104	19

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

De igual forma como se calculan las condiciones anteriormente mencionadas, se determinan también las abstracciones. Vale la pena resaltar que se utilizó un CN diferente para cada periodo de acuerdo con la climatología de cada mes, es decir que las condiciones de humedad variaron en cada condición pluviométrica (12 períodos) establecido.

➤ **Método de Abstracción del SCS (Monsalve G, 1999)**

Es un método para calcular la precipitación efectiva en una cuenca, por medio de las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha. El número de curva condiciones de humedad normal (CNII) varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográfica: tipo de suelo hidrológico, utilización y tratamiento del suelo, condiciones de la superficie del terreno y condición de humedad antecedente del suelo; El método del número de curva de escorrentía, fue desarrollado basado en datos de precipitación y escorrentía de 24 horas.

La precipitación neta para este método es:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde

Pe = es la precipitación efectiva,
P = es la precipitación Total y
S = es la Retención Potencial Máxima.

La Retención Potencial Máxima de cada una de las microcuencas se estima por medio de la Curva Número de Escorrentía.

$$S_i = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde CN es la curva de escorrentía para I, II Y III (humedad antecedente). En las siguientes tablas se muestran los resultados de los parámetros anteriormente definidos de cada una de las cuencas.

➤ Tiempos de Concentración

Esta característica define el tiempo que demora el agua superficial en ir desde la cota más alta del cauce principal hasta la más baja (o final) de la cuenca. Para los tiempos de concentración de cada una de las microcuencas se analizó el método de KIRPICH. Cabe resaltar que también se estudiaron otras metodologías con el objeto de comparar los valores de drenajes y estimar que el método mencionado anteriormente es más ajustado a las condiciones reales para mostrar lo dicho se presenta la Tabla N° 153.

✓ Fórmula del Kirpich

$$TC = 0.0078 * (L * 3280.84)^{0.77} * \frac{1}{S^{0.385}}$$

En donde:

Tc = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del cauce principal (pies)

S = Pendiente del cauce principal (pies/pies)

Se utiliza este modelo debido a que involucra mas condiciones especificas del relieve de la cuenca, ademas que sus resultados permiten visualizar de forma mas clara el comportamiento entre una cuenca y otra, facilitando inferencias entre similitudes de sus formas de drenaje.

Tabla N° 153. Tiempos de concentración (en minutos) para los diferentes modelos analizados, resultados suministrados por el componente climatológico.

MICROCUENCAS	Tc (min)				Tc (min) promedio
	Kirpich	CCP	HATAWAY	FAA	
Riecito	82	49	126	77	83
Chiriaimo Alto	100	56	13	84	94
Chiriaimo Medio	42	29	92	56	55
Chiriaimo Bajo	226	95	189	130	160

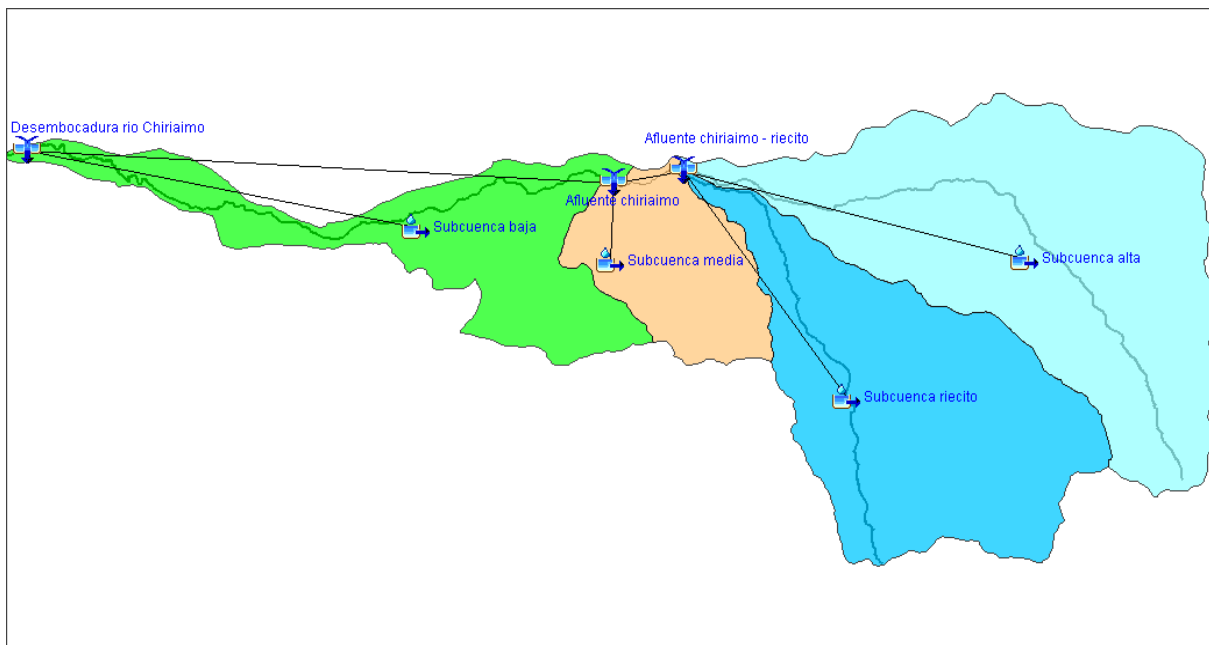
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Para generar el modelo de escorrentía superficial se trabaja con los valores arrojados por la formulación planteada por KIRPICH (ver: hojas de cálculo, componente climatológico). Es importante mencionar que el valor obtenido para la microcuenca baja (226 minutos) del río Chiriaimo es bastante elevada en comparación con los demás valores de escorrentía, cuya interpretación más lógica lleva a considerar que el tipo de terreno de esta parte de la cuenca es plano; si bien se sabe entre más plano sea el terreno más tarda la estructura de suelo en drenar sus aguas.

2.8.5.9 Modelación hidrológica

La modelación hidrológica de la microcuenca consiste en procesar los datos de escorrentía de cada microcuenca en estudio y convertirla en caudales tributarios sobre el río cesar con el objeto de discriminar su oferta hídrica. La plataforma HEC-HMS 3.4 permite generar un mapa interactivo de las microcuencas de las que consta el río Chiriaimo, permitiendo la ubicación y modificación de los parámetros de cada una de ellas. En el Mapa N° 35 se muestra el mapa generado por el software, correspondiente a las microcuencas adyacentes del río Chiriaimo y sus puntos de afluencia.

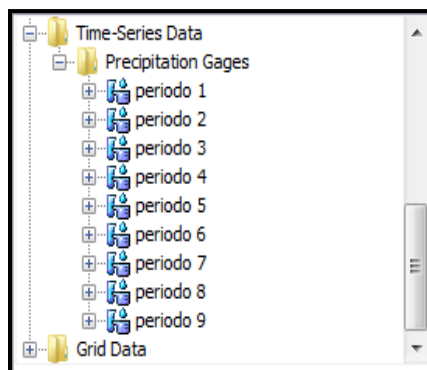
Mapa N° 35. Modelo hidrológico generado por el programa HEC – HMS:



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La plataforma visual de HEC-HMS permite generar un mapa interactivo en la pantalla de computador que permite el acceso fácil de los parámetros de cada una de la microcuenca, Según el modelo computacional generado, se discrimina un vínculo (periodo 1, periodo 2, periodo 3, etc.), en el cual se consignan los valores de lluvias para los meses pertenecientes a cada condición pluviométrica establecidas, así:

Ilustración N° 1. Cuadro de dialogo del software HEC – HMS (vinculo de precipitación)

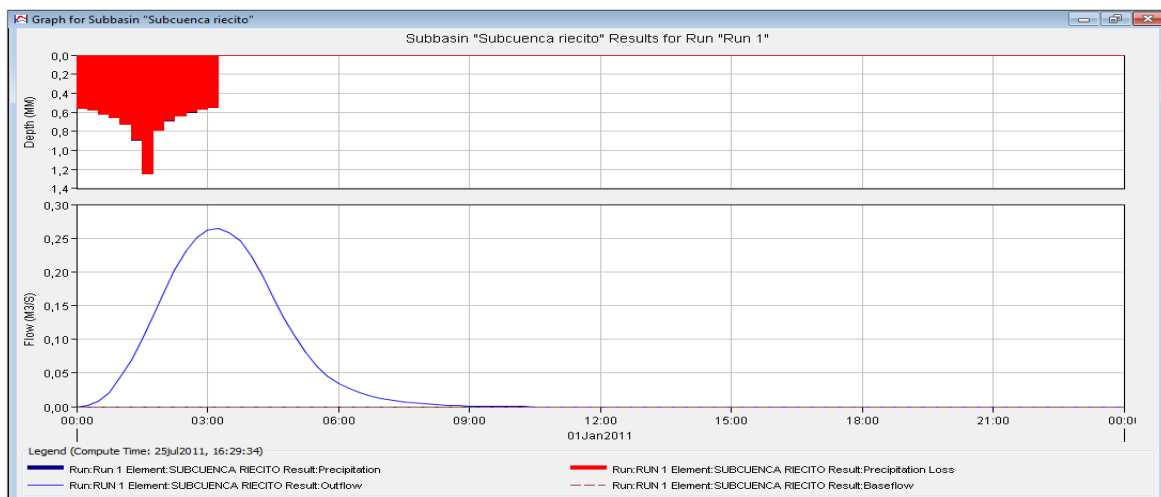


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los parámetros básicos con los que le modelo genera la hidrología de cada área son:

- Condición de humedad antecedente: CN II, como condición hidrológica base.
 - Abstracción inicial: Ia, valor con el que se conoce que tanta agua se infiltra o corre por la superficie.
 - Áreas: valor límite de la zona influenciada por las lluvias modeladas.
 - Condición de impermeabilidad: *porcentaje* que se supone, es, un estrato (o zona) del suelo impermeable que impide el paso de agua.
 - Tiempos de concentración: define cuanto tiempo tarda cada cuenca en drenar sus aguas superficiales (tiempo de escorrentía que el nuestro caso es de 3 horas).
- Período 1 (Valores de Precipitación para 2 años del mes de Enero)
- Microcuenca Riecito:

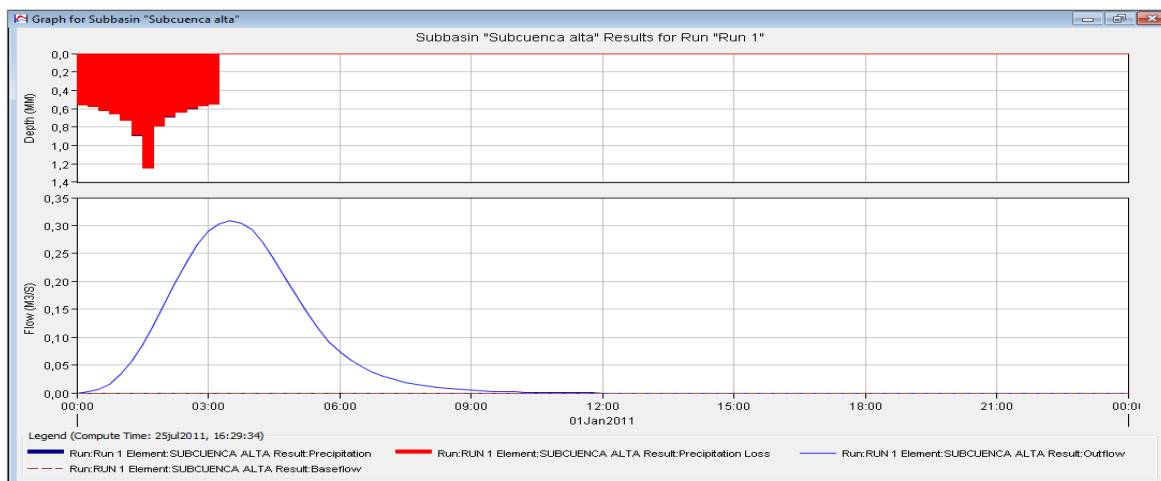
Gráfica N° 49. Resultado de flujo para la microcuenca del río Riecito en el mes de enero con un retorno 2 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

- Microcuenca Alta del río Chiriaoimo

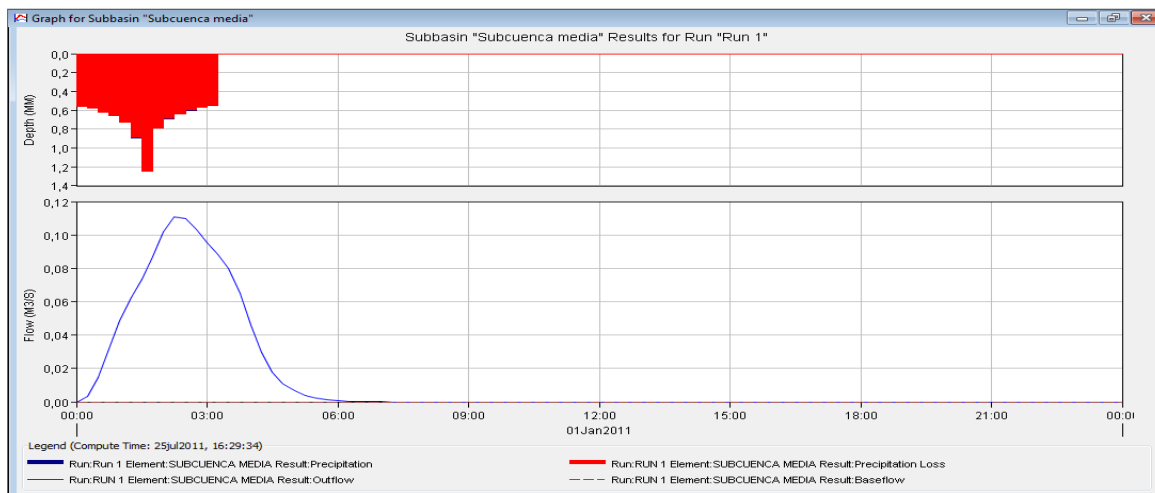
Grafica N° 50. Resultado de flujo para la microcuenca Alta del río Chiriaoimo en el mes de enero con un retorno 2 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

- Microcuenca Media del río Chiriaoimo

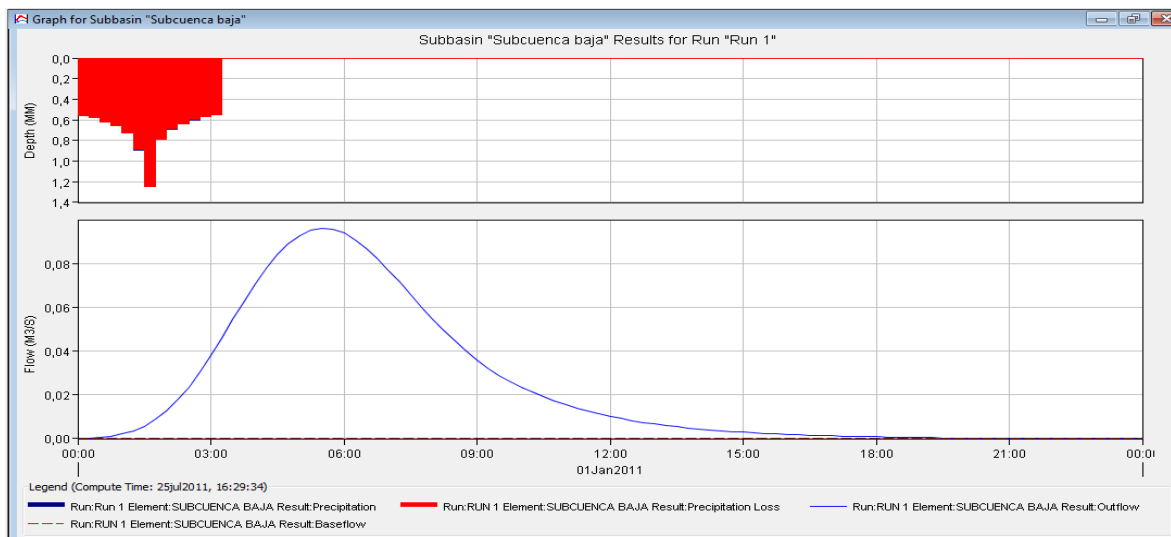
Grafica N° 51. Resultado de flujo para la microcuenca Media del río Chiriaoimo en el mes de enero con un retorno 2 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

- Microcuenca Baja del río Chiriaimo

Grafica N° 52. Resultado de flujo para la microcuenca Baja del río Chiriaimo en el mes de enero con un retorno 2 años



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 154. Resultados globales de caudal para un periodo de retorno de 2 años en el mes de enero para la microcuenca del río Chiriaimo.

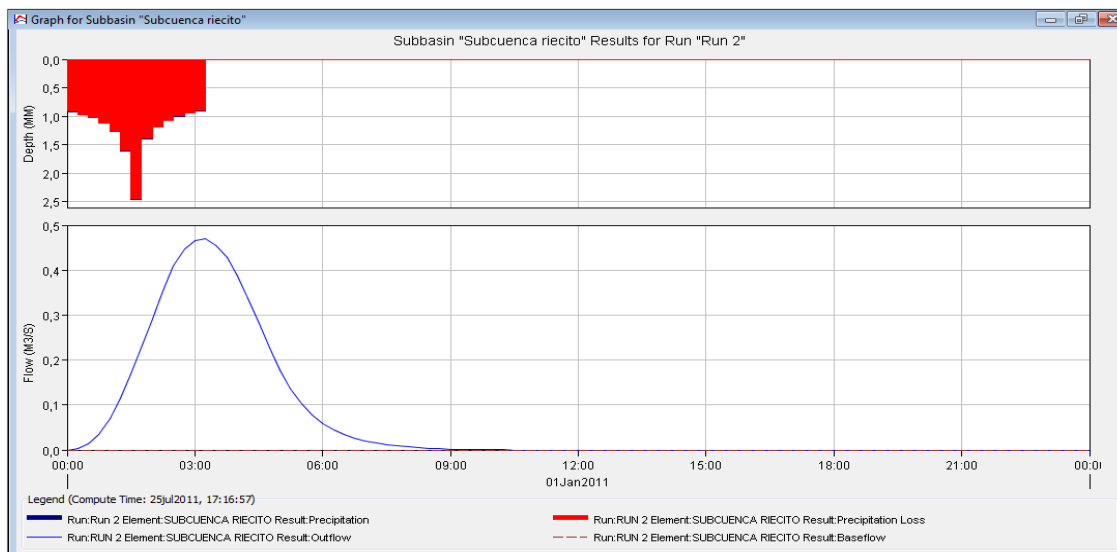
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Volume (1000 M3)
Subcuenca alta	84,37	0,3	3,9
Subcuenca riecito	67,21	0,3	3,1
Afluente chiriaimo - riecito	151,58	0,6	6,9
Subcuenca media	23,56	0,1	1,1
Afluente chiriaimo	175,14	0,7	8,0
Subcuenca baja	43,05	0,1	2,0
Desembocadura rio Chiriaimo	218,19	0,7	10,0

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

➤ Período 1 (Valores de Precipitación para 25 años del mes de Enero)

- Microcuenca Riecito:

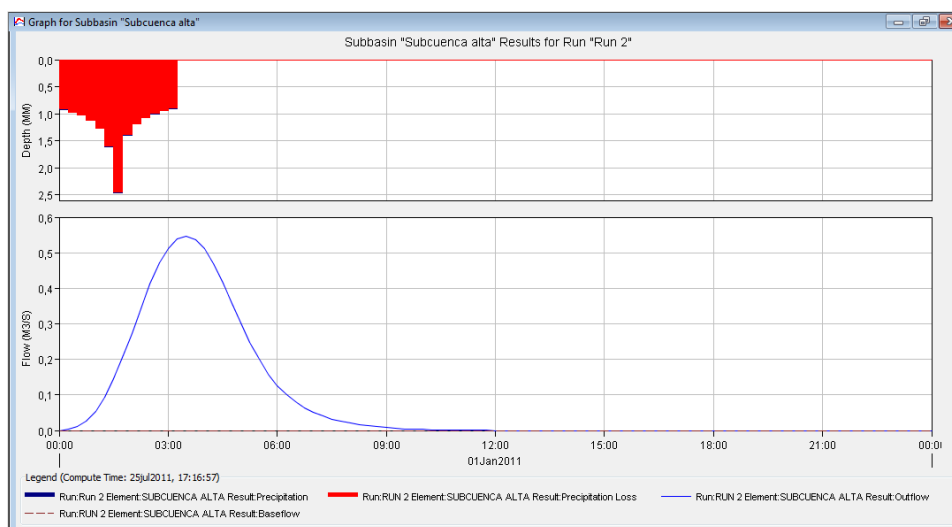
Grafica N° 53. Resultado de flujo para la microcuenca del río Riecito en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

- Microcuenca Alta del río Chiriaoimo

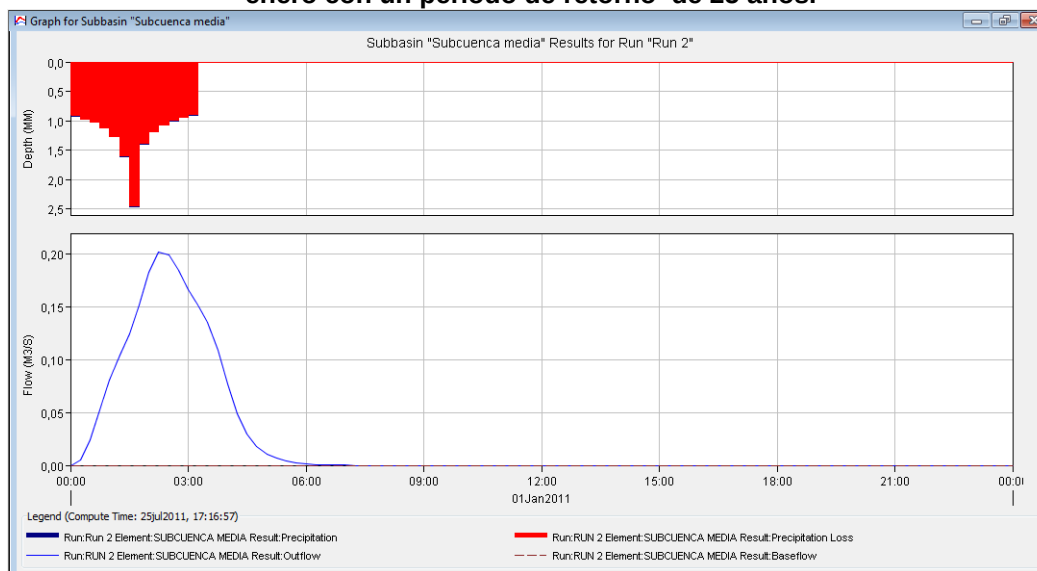
Grafica N° 54. Resultado de flujo para la microcuenca Alta del río Chiriaoimo en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

- Microcuenca Media del río Chiriaimo

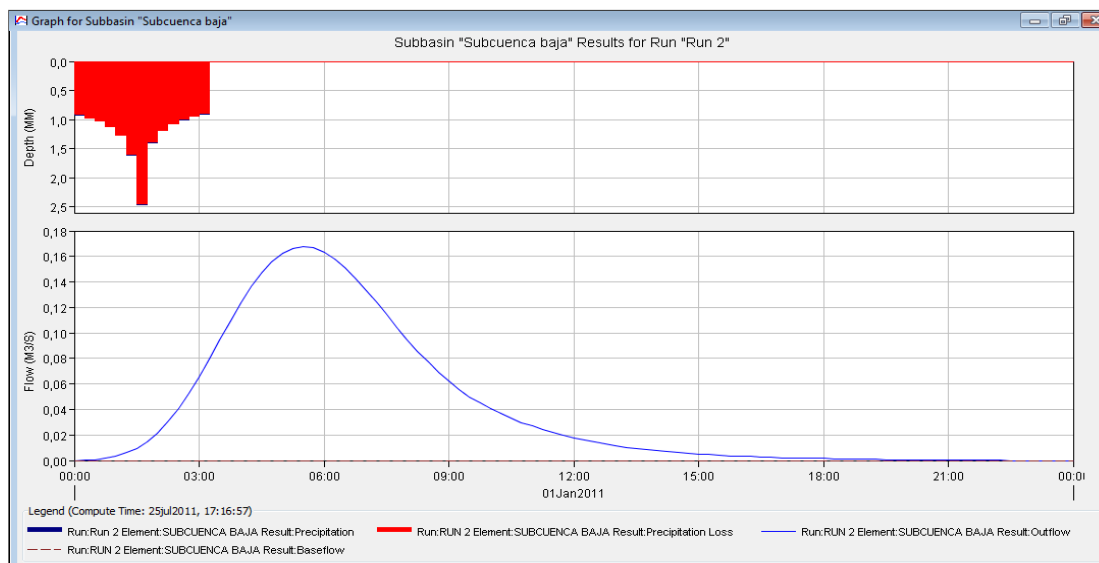
Grafica N° 55. Resultado de flujo para la microcuenca Media del río Chiriaimo en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

- Microcuenca Baja del río Chiriaimo

Grafica N° 56. Resultado de flujo para la microcuenca Baja del río Chiriaimo en el mes de enero con un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 155. Resultados globales de caudal para un periodo de retorno de 25 años en el mes de Enero para la microcuenca del río Chiriaimo.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Volume (1000 M3)
Subcuenca alta	84,37	0,5	6,7
Subcuenca riecito	67,21	0,5	5,3
Afluente chiriaimo - riecito	151,58	1,0	12,0
Subcuenca media	23,56	0,2	1,9
Afluente chiriaimo	175,14	1,2	13,9
Subcuenca baja	43,05	0,2	3,4
Desembocadura rio Chiriaimo	218,19	1,2	17,3

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Los resultados de caudal para los periodos de retorno de 2 y 25 años en cada uno de los meses del año se pueden revisar en las memorias de cálculo

2.8.5.10 Interpretación de resultados

Las gráficas arrojadas por el modelo, muestran en la parte superior, el diagrama de infiltraciones (en rojo) cuyo valor indica cuanta precipitación se infiltra en la cuenca; también en aquellas zonas en las que aparece un diagrama de color azul, se representa la escorrentía superficial generadas a partir de los registros de precipitación consignados para cada uno de los meses respectivos.

De igual forma en la parte inferior de los registros gráficos se ve el diagrama de flujos en el cual da una idea clara del caudal generado y su comportamiento (incluyendo pico) en cada una de las cuencas bajo los datos mencionados anteriormente. De forma general se discriminan las tablas en las que se ven los datos de caudal para cada corrida del modelo, esta consta de dos columnas principales:

Tabla N° 156. Datos de caudal insertado para correr el modelo.

Peak Discharge (M3/S)	Volume (1000 M3)
0,5	6,7
0,5	5,3
1,0	12,0
0,2	1,9
1,2	13,9
0,2	3,4
1,2	17,3

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

La primera de estas representa el caudal generado por la escorrentía superficial de cada cuenca y la segunda el volumen obtenido por las precipitaciones. Con los datos anteriormente mostrados en los resultados se obtiene el comportamiento hídrico de cada microcuenca.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de forma resumida tanto para 2 años como para 25 años de retorno:

Tabla N° 157. Resultados generales de caudal para 2 años desde el mes de enero hasta el mes de junio.

MICROCUENCAS	CAUDALES (m3/s)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Microcuenca alta	0,3	0,3	0,4	0,7	28,1	0,4
Microcuenca Riecito	0,3	0,3	0,3	0,6	25,1	0,3
Afluente Chiriamo – Riecito	0,6	0,6	0,7	1,3	52,9	0,7
Microcuenca media	0,1	0,1	0,1	0,2	5,2	0,1
Afluente Chiriamo	0,7	0,7	0,8	1,4	56,3	0,8
Microcuenca baja	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Desembocadura rio Chiriamo	0,7	0,8	0,8	1,5	56,5	0,9

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 158. Resultados generales de caudal para 2 años desde el mes de julio hasta el mes de diciembre.

MICROCUENCAS	CAUDALES (m3/s)					
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Microcuenca alta	0,3	281	0,5	28,1	28,1	0,3
Microcuenca Riecito	0,2	25,1	0,4	25,1	25,1	0,3
Afluente Chiriaimo – Riecito	0,5	52,9	0,8	52,9	52,9	0,6
Microcuenca media	0,1	5,2	0,1	5,2	5,2	0,1
Afluente Chiriaimo	0,6	56,3	0,9	56,3	56,3	0,7
Microcuenca baja	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
Desembocadura rio Chiriaimo	0,6	56,5	1,0	56,5	56,5	0,7

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 159. Resultados generales de caudal para 25 años desde el mes de enero hasta el mes de junio.

MICROCUENCAS	CAUDALES (m3/s)					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Microcuenca alta	0,5	0,5	0,6	13,9	56,9	1,2
Microcuenca Riecito	0,5	0,4	0,5	12,7	50,1	1,1
Afluente Chiriaimo – Riecito	1,0	0,9	1,0	26,2	105,6	2,3
Microcuenca media	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2
Afluente Chiriaimo	1,2	1,1	1,2	26,4	105,7	2,4
Microcuenca baja	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1
Desembocadura rio Chiriaimo	1,2	1,2	1,3	26,6	105,9	2,5

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

Tabla N° 160. Resultados generales de caudal para 25 años desde el mes de julio hasta el mes de diciembre.

MICROCUENCAS	CAUDALES (m3/s)					
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Microcuenca alta	0,3	56,9	4,2	56,9	56,9	0,5
Microcuenca Riecito	0,3	50,1	3,9	50,1	50,1	0,4
Afluente Chiriamo – Riecito	0,6	105,6	8,1	105,6	105,6	0,8
Microcuenca media	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
Afluente Chiriamo	0,7	105,7	8,1	105,7	105,7	1,0
Microcuenca baja	0,1	0,4	0,2	0,4	0,4	0,1
Desembocadura rio Chiriamo	0,8	105,9	8,3	105,9	105,9	1,0

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

2.8.6 Caudal ecológico

Según (Izquierdo SnataCruz & Madroñero Palacios, 2014) El Caudal Ambiental es la cantidad, calidad y régimen o estacionalidad de flujos requeridos para sostener los ecosistemas dulceacuícolas y estuarios, así como los servicios que provee, bajo escenarios de competencia por los usos del agua, y se involucra a las poblaciones que dependen de estos ecosistemas, del concepto de Caudal Ambiental se incluye el de Caudal Ecológico; al establecer cualquiera de estos dos tipos de caudales, se busca un equilibrio de los diferentes usos y demandas del agua. El establecerlo puede reducir la disponibilidad de agua destinada para usos económicos y sociales, de aquí radica la importancia de concertación con las comunidades, buscando un equilibrio entre las demandas actuales y futuras, con la conservación y protección de la Biota Acuática.

Por lo anterior después de realizar los análisis estadístico de rigor se obtienen los resultados obtenidos para los periodos de retorno de 2 y 25 años, en los cuales el caudal estimado para la corriente del rio chiriamo según datos de la estación

climatológica se acercan a 9.45 m³/s del caudal medio mensual multianual para el cual según la resolución 865 de 2004 en el capítulo 3.4.2 (Reducción por caudal ecológico) indica que según el IDEAM se adopta como caudal ecológico un valor aproximado del 25% del valor medio multianual, por lo que para la fuente superficial en ordenamiento se tomará este valor obteniendo como resultado como caudal ecológico para la corriente del Río Chiriaimo de 2.36 m/s.

2.9 ESTUDIO DE LA DEMANDA DE AGUA E INDICADOR DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL.

Uno de los componentes fundamentales del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico –PORH es la estimación de la demanda de agua en la cuenca, en el cual se busca determinar la cantidad de agua que se usa actualmente en la cuenca para los sectores productivos y el consumo humano. De igual manera, se evalúa la presión que existe sobre el recurso hídrico, mediante el Índice de Uso del Agua - IUA y el Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico –IVH, estos índices permiten evaluar si la cantidad de agua disponible en las fuentes superficiales es suficiente para abastecer el consumo de los usuarios y garantizar la sostenibilidad del ecosistema.

La demanda hídrica en la microcuenca del río Chiriaimo se estimó utilizando la metodología, que consistió en revisar la información de los expedientes de concesiones de agua de la Corporación Autónoma Regional del Cesar – Corpocesar y luego con base en dicha revisión, consolidar en el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS; complementado con información de los sectores productivos: agrícola y pecuario, entre otros para estimar los requerimientos de agua de los sectores en función del consumo de agua por unidad de producción.

2.9.1 Metodología inventario de concesiones

Esta metodología tiene como punto de partida la información puntual de concesiones de agua. En este sentido, el cálculo de la demanda hídrica se realizó utilizando los datos consolidados en el formato de Registro de Usuarios del Recurso Hídrico - RURH, tanto para personas naturales (PN) como jurídicas (PJ). Uno de los aspectos importantes de esta base de datos es que contiene la información de la concesión de aguas y los usos que se dan a la misma, que son: abastecimiento y consumo humano (doméstico), abrevaderos (pecuario), pesca (piscícola), riego y silvicultura (agrícola) y otros.

2.9.2 Concesiones de agua

La información de concesiones de agua fue recopilada de la base de datos de Corpocesar. La revisión de expedientes se realizó solo para aquellos que se

encuentran con una concesión de agua vigente y los datos fueron consolidados en el formato del Registro de Usuarios del Recurso Hídrico propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En el inventario de concesiones que se consolidó para río Chiriaimo, existe un gran número de concesiones de las que no se tiene georreferenciación. Teniendo en cuenta que estos expedientes representan la información disponible para río Chiriaimo, se consideró necesario tenerlos en cuenta en las estimaciones.

En el Anexo de Demanda Hídrica se encuentra el inventario de concesiones consolidado en el formato RURH y que fue utilizado para este primer análisis de la demanda hídrica. En los mapas anexos se presenta la ubicación espacial de las concesiones de agua para personas naturales y jurídicas respectivamente, cuyo análisis y distribución por usos se presenta más adelante.

2.9.3 Resultados

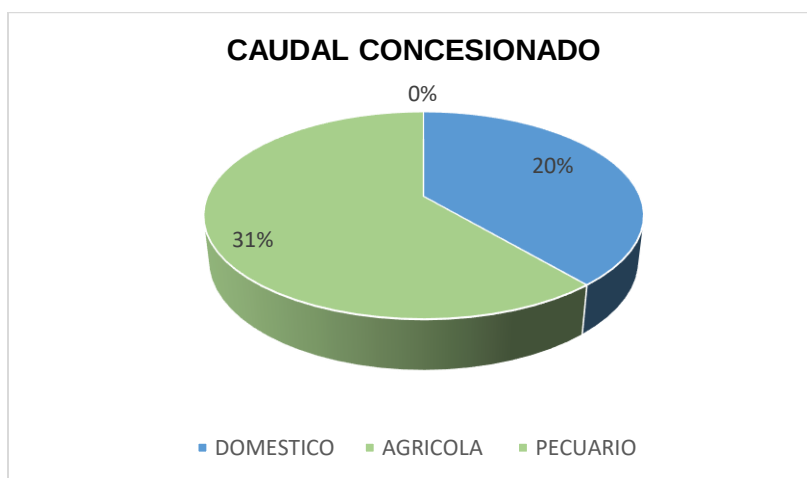
Se muestra la caracterización de usuarios del territorio a partir del análisis de expedientes de concesiones de agua superficial y los caudales otorgados. La importancia de expresar las diferencias entre las proporciones de caudal y las concesiones otorgadas radica en demostrar que existen actividades que requieren una mayor demanda del recurso para llevarlas a cabo y que pueden presentarse escenarios desfavorables si no se les realiza el seguimiento adecuado.

Tabla N° 161. Usos y caudales

USOS	CAUDAL CONCESIONADOS	CAUDAL SIN CONCESIÓN	CAUDAL TOTAL
DOMESTICO	126	57.94	183.94
AGRICOLA	198.96	225.92	424.88
PECUARIO		36.16	36.16
TOTAL	324.96	320.02	644.98

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019

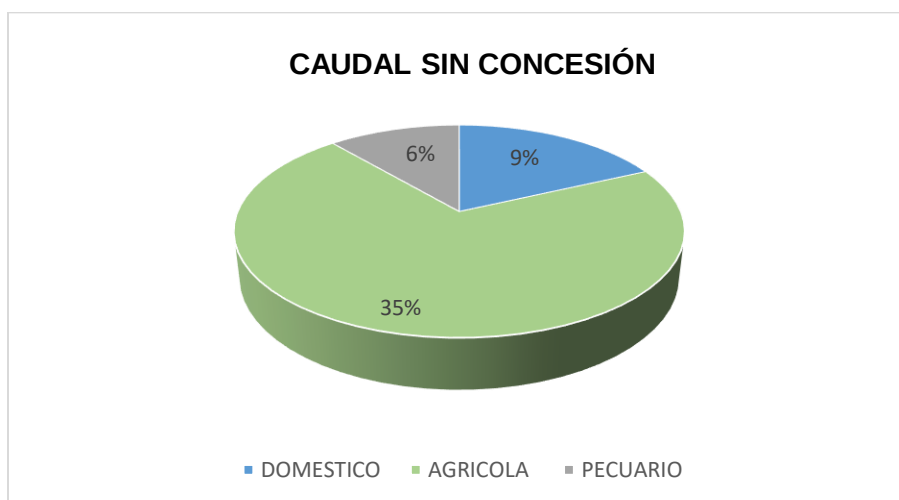
Grafica N° 57. Caudal concesionado



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En las proporciones de caudal con concesión se observa que el 31% es para uso agrícola, seguidamente se encuentra el uso doméstico con un 20% de la demanda hídrica, posteriormente se encuentra el uso pecuario con un 0%.

Grafica N° 58. Caudal sin concesión



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En las proporciones de caudal sin concesión se observa que el 35% es para uso agrícola, seguidamente se encuentra el uso doméstico con un 9% de la demanda hídrica, posteriormente se encuentra el uso pecuario con un 6%.

➤ Demanda doméstica

El uso doméstico con mayor demandase atribuye a los de abastecimiento de los Municipios de La Paz y San diego, así como para el centro poblado de San José de Oriente; otro porcentaje es el consumido por las veredas que se sitúan en forma dispersa a lo lado y lado del rio Chiriaimo.

➤ Demanda pecuaria

Con base en lo presentado en el numeral anterior y teniendo en cuenta que el sector ganadero es un renglón importante para el municipio de La paz y San Diego es posible que el inventario de concesiones de agua no sea suficiente lo que supone una subestimación del consumo de agua en este sector, reflejado en un valor menor el consumo de agua.

➤ Demanda agrícola

Con base en los datos se encuentra un valor mayor en la demanda agrícola, debido a que en la zona de estudio prevalecen los cultivos y riegos de pasto en gran extensión.

2.9.4 Indicadores de estado de la demanda

2.9.4.1 Índice de uso del agua – IUA

El índice del uso del agua es la relación porcentual entre la demanda de agua y la oferta hídrica superficial disponible, aunque en un sentido estricto se debería tener en cuenta la oferta de aguas subterráneas, pero el avance en esta área es menor, y por ello sólo se considera el agua superficial (IDEAM, 2014). Se calcula de la siguiente manera:

$$IUA = \frac{D_h}{O_h} \times 100$$

Dónde:

Dh: demanda hídrica total [m3/año] o [l/s]

Oh: oferta hídrica disponible [m3/año] o [l/s]

En la Tabla N° 162 se presenta la manera de categorizar el IUA de acuerdo a los resultados de la relación oferta demanda obtenidos. A continuación se presentan

los resultados de la estimación del IUA para las condiciones hidrológicas seca y normal según lo indica la guía del PORH, utilizando como información de demanda la presentada en el numeral anterior y para la estimación de la oferta total disponible se utilizó como caudal ambiental el 25% del caudal promedio.

Tabla N° 162. Rangos y categorías del Índice de regulación hídrica

Rango (Dh/Oh) *100	Categoría IUA	Significado
> 50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 – 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
< 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Al realizar el balance entre oferta y demanda, necesario para estimar el IUA, se realizó un promedio bajo las condiciones hidrológicas evaluadas en el río Chiriaimo, arrojando una presión alta sobre el recurso.

Tabla N° 163. Balance entre oferta y demanda, necesario para estimar el IUA

TRAMO	OFERTA (M3/AÑO) PROM TRAMO	DEMANDA HIDRICA(M3/AÑO) PROM TRAMO	IUA
TRAMO 1	23336640	9303120	39.9
TRAMO 2	29013120	11826000	40.8
TRAMO 3	44465760	15137280	34.0
TRAMO 4	28697760	20183040	70.3
TRAMO 5	1892160	946080	50.0

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 164. Categorización de los tramos del río Chiriaimo con el IUA.

TRAMO	CATEGORIA IUA	SIGNIFICADO
-------	---------------	-------------

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

TRAMO 1	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
TRAMO 2	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
TRAMO 3	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
TRAMO 4	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
TRAMO 5	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

2.9.4.2 Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento - IVH

El IVH se define como el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas, como períodos largos de sequía, podría generar riesgos por desabastecimiento. Se determina a través de una matriz de relación de rangos entre el Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso del agua (IUA) (IDEAM, 2014).

Tabla N° 165. Matriz para categorizar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico

Índice de uso de agua (IUA)	Índice de regulación hídrica (IRH)	Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH)
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

El IRH para cada uno de los tramos río Chiriaimo se presentó en capítulo de Oferta Hídrica, cuya estimación no presentó variabilidad alguna y corresponde a un valor alto para todos los tramos. Al cruzar esta información con el IUA y aplicar la matriz de categorización del IVH Tabla N° 165 se obtuvo la distribución espacial del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento, para las condiciones del monitoreo.

2.10 DETERMINACIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.

El análisis de riesgo asociado a la reducción de la oferta hídrica se construyó relacionando los resultados del IVH para la condición seca que en este caso corresponde a la amenaza, y las concesiones de agua otorgadas a personas naturales o jurídicas es la vulnerabilidad. Las categorías de amenaza y vulnerabilidad están definidas tal como se presenta en la Tabla N° 166

Tabla N° 166. Categorías de amenaza y vulnerabilidad para estimar el riesgo por reducción de la oferta hídrica.

Amenaza		Vulnerabilidad	
Criterio	Categoría	Criterio	Categoría
IVH Muy Alto	Alta	Captaciones uso doméstico	Alta
IVH Alto	Media	Captaciones uso agrícola o piscícola	Media

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Otro Categoría IVH	Baja	Captaciones otros usos o ausencia de captaciones	Baja
--------------------	------	--	------

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

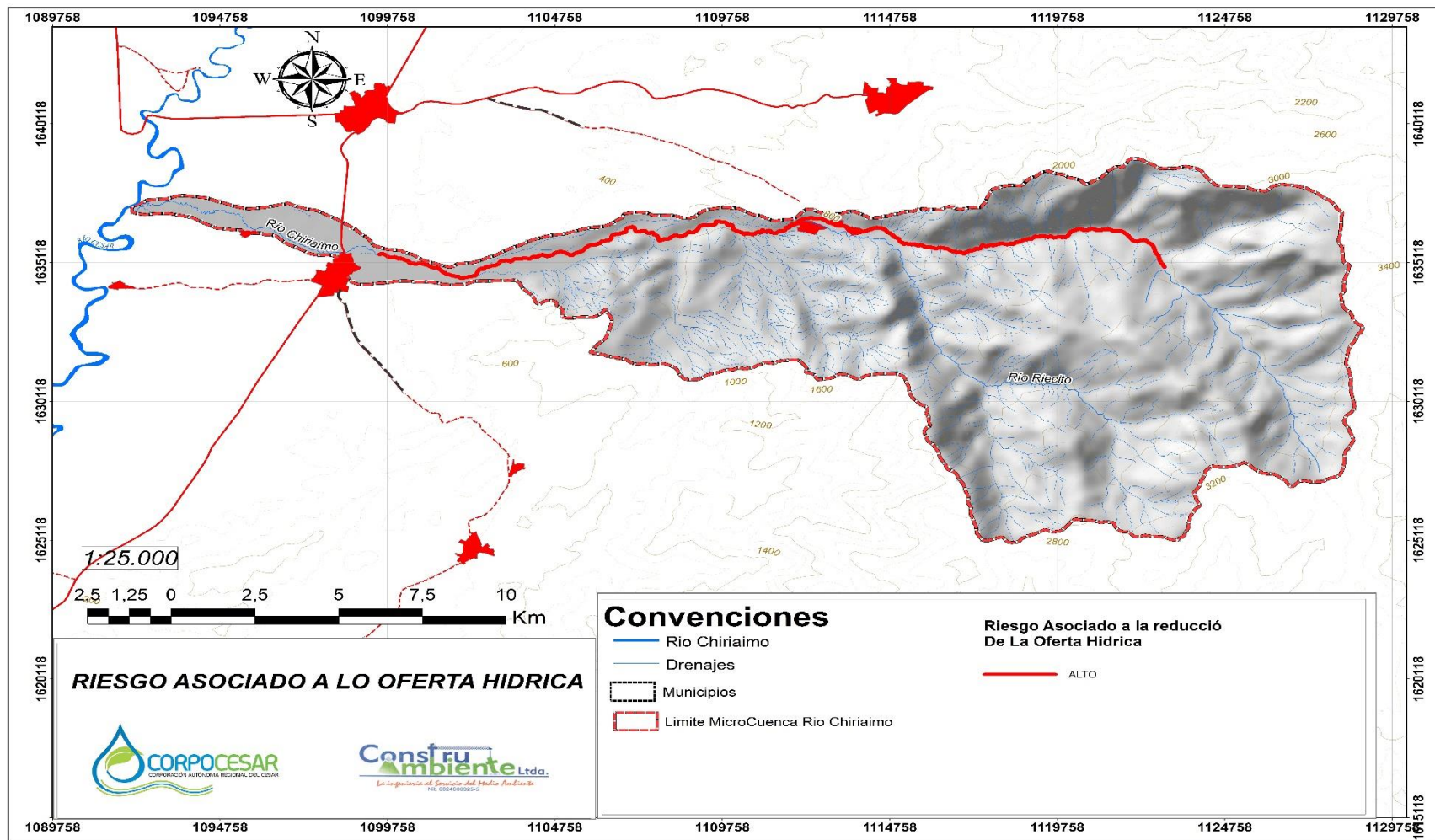
Tabla N° 167 Regla de decisión para el riesgo asociado a la reducción de la oferta hídrica.

ESTACION	Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo
E1	Alta	Alta	Alto
E2	Alta	Media	Alto
E3	Alta	Baja	Alto
E4	Media	Alta	Alto
E5	Alta	Alta	Alto

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Mapa N° 36. Riesgos asociados a la oferta hídrica



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.