

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

CARACTERIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO
TACÓ EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA



BUSSY ENMANUEL ALDANA LÓPEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, ABRIL 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

CARACTERIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO
TACÓ EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

BUSSY ENMANUEL ALDANA LÓPEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERO EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, ABRIL 2023

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS**



**RECTOR
M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Lic. Zoot. Merlin Wilfrido Osorio López
Representante de Profesores:	Mtro. Helmuth César Catalán Juárez
Representante de Profesores:	Mtro. José Emerio Guevara Auxume
Representante de Graduados:	Ing. Agr. Henry Estuardo Velásquez Guzmán
Representante de Estudiantes:	A.T. Zoila Lucrecia Argueta Ramos
Representante de Estudiantes:	Br. Juan Carlos Lemus López
Secretaria:	Licda. Yessica Azucena Oliva Monroy

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Mtro. Carlos Leonel Cerna Ramírez
Coordinador de Carrera:	Dr. Jeovani Joel Rosa Pérez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	Dr. Jeovani Joel Rosa Pérez
Secretario:	Mtra. Victoria María Callén Valdés
Vocal:	Mtra. Lorena Araceli Romero Payes

TERNA EVALUADORA

Inga. Agr. Magda Irene Medrano Guerra
Inga. en A.T. Maris Arelis España Estrada
Dr. Jeovani Joel Rosa Pérez

Chiquimula, abril de 2023

Señores
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado:

“CARACTERIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA”

El cual presento como requisito previo a optar al título de Ingeniero en Administración de Tierras, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,



Bussy Enmanuel Aldana López
Carné 201841624

Chiquimula, 27 de marzo de 2023

Ref. TG-AT-09-2023

Lic. Zoot. Merlin Wilfrido Osorio López

DIRECTOR

Centro Universitario de Oriente

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable señor Director:

En atención a la designación efectuada según Acta de Aprobación de Tema de Trabajo de Graduación APT-01-2023 de fecha 24-01-2023, para asesorar al estudiante **BUSSY ENMANUEL ALDANA LÓPEZ** con Registro Académico **201841624**, en el trabajo de graduación denominado **“CARACTERIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA”**, tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes, razón por la cual recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar el título de **Ingeniero en Administración de Tierras**, en el Grado Académico de **Licenciado**.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Maris Arelis España Estrada
Colegiada No. 6,049



c.c. archivo
MAEE / Im

D-TG-AT-068/2023

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el documento de la investigación que efectuó el estudiante **BUSSY ENMANUEL ALDANA LÓPEZ** titulado “**CARACTERIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Administración de Tierras. Por tanto, la Dirección del CUNORI, con base en las facultades que le otorgan las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria, **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación**, a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERO EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a treinta de marzo de dos mil veintitrés.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Lic. Zoot. Merlin Wilfrido Osorio López
DIRECTOR
CUNORI – USAC



DEDICATORIA

A DIOS

Gracias, Padre celestial, por ser mi guía y darme cada día tu bendición para salir adelante; sin ti este logro no fuera posible.

A MIS PADRES

Rosa Amelia López Sagastume y Alfredo Aldana Barahona, gracias por brindarme valores y enseñanzas para ser una persona de bien; así mismo, por apoyarme y motivarme a seguir adelante con mis sueños y metas, al no darme por vencido hasta lograrlo... Siguiendo tus palabras, madre, de no darme por vencido hasta el último suspiro de vida.

A MI ESPOSA E HIJA

Ingrid Veraly Velásquez Regalado de Aldana y mi hermosa gordita Amelia Sofía Aldana Velásquez, gracias por estar a mi lado en todo momento, dándome ánimos para lograr mis metas.

A MI FAMILIA

A mis hermanos Carlos Gerardo Aldana López, Luis Abelardo León López, Alfredo Eliú Aldana López y Rosa Mishell Aldana López, mi tía Sara Lorena López Sagastume, tío Jorge

Humberto Quiñonez Chávez, a mis primas Mildred Paola Quiñonez López, Johana Elizabeth Quiñonez López y Lucy Celeste Estrada Ramírez, mi suegra María Rutilia Regalado Peña, mis cuñados Erika Janeth Velásquez Regalado, Wilmer Josué Velásquez Regalado y Erick Geovany Velásquez Regalado: por siempre estar al pendiente de mí y echarme porras por cada logro que obtengo.

A MIS AMIGOS

Marina Lupita Chacón Martínez, Andrea Marinee Tobar Cordón, Carlos Cristian Josué Espinoza Portillo, Rommel Anibal Villela Ponciano, Kevin Alejandro Chacón Santos, Josué Luis Chapas Castillo, Alan Ramiro López Solares, Ángel Orlando Díaz Valdés; gracias por su amistad sincera y por darme grandes consejos para mi vida personal, laboral y profesional.

AGRADECIMIENTOS

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE	Por brindar las herramientas necesarias, en las diferentes carreras, para que los estudiantes adquieran y fortalezcan sus conocimientos en su camino profesional.
A MIS CATEDRÁTICOS	Por compartir sus conocimientos y experiencias para mi formación académica.
A MIS ASESORAS	Ing. A. T. Maris Arelis España Estrada y Mtra. Victoria María Callén Valdés, gracias por su apoyo, motivación, tiempo invertido y orientación brindada a lo largo de la investigación.
MTRA. LORENA ARACELI ROMERO PAYES Y DR. JEOVANI JOEL ROSA PÉREZ	Un gran agradecimiento por motivarme a ingresar al Centro Universitario de Oriente para estudiar la carrera de Ingeniería en Administración de Tierras y desarrollarme como gestor del desarrollo territorial de nuestra república de Guatemala.

RESUMEN

CARACTERIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TACÓ EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA

El municipio de Chiquimula cuenta con redes hídricas que podrían abastecer al servicio de agua potable al área urbana, para uso domiciliar e industrial en la mejora del desarrollo territorial. Una de estas redes hídricas es la microcuenca del río Tacó, de gran importancia por su céntrica ubicación geográfica en el área urbana.

Se llevó a cabo una investigación para contribuir a la gestión municipal para el desarrollo territorial y urbanístico de la cuenca del río Tacó, en el municipio de Chiquimula, del departamento de Chiquimula, proporcionando información geoespacial de las zonas 3 y 4, que sirva como base para la planificación territorial y urbanística en la cuenca del río Tacó, reconociendo la calidad del agua a través del Índice de Calidad del Agua -ICA- y sensibilizando a la población chiquimulteca sobre la importancia del manejo, uso y conservación del recurso hídrico del río Tacó.

El desarrollo de la investigación permitió determinar que de 548 predios que conforman el inventario del área objeto de estudio, 9.67% no hacen uso del tren de aseo y no se encuentran conectados al servicio de drenaje, encontrándose en las categorías de construcción de sus viviendas baja y precaria; en el 4.38% los habitantes realizan la quema de los desechos, en 5.29% los habitantes entierran o tiran sus desechos sólidos y aguas residuales al cauce del río. Asimismo, se identificaron en el área de estudio 29 vertederos no autorizados.

Por ello, se recomienda que se realicen gestiones de desarrollo territorial involucrando a la población del área de estudio, para conservar el recurso hídrico de la cuenca del río Tacó, empleando como herramienta la información gráfica y alfanumérica generada.

Palabras clave: caracterización, cuenca, río Tacó, Chiquimula.

ÍNDICE

Contenido	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO CONCEPTUAL	3
2.1 Antecedentes	3
2.1.1 Servicio de recolección	3
2.1.2 Microcuenca río Tacó	5
2.1.3 Hallazgos y necesidades	6
2.1.4 Residuos en las calles	6
2.1.5 Animales afectados por la contaminación	7
2.2 Estudios relacionados	8
2.3 Planteamiento del problema	9
2.4 Justificación	11
3. MARCO TEÓRICO	14
3.1 Sistema de administración de tierras -SAT-	14
3.1.1 Sistema de administración de tierras y contaminación del agua	14
3.2 Modelo digital de elevaciones -MDE-	15
3.3 Modelos digitales del terreno -MDT-	15
3.4 Fotogrametría aérea digital	15
3.5 Drones	15
3.6 Internet	16
3.7 Sistema de Información Geográfica -SIG-	16
3.8 Quantum Gis -QGIS-	17
3.9 Modelo vectorial	17
3.10 Modelo raster	18

3.11	<i>Shape file</i>	18
3.12	Sistema de coordenadas	19
3.13	Base de datos espacial	19
3.14	Mapas	20
3.15	Levantamiento del predio	20
3.16	Obtención de insumos cartográficos básicos y límites administrativos municipales	20
3.17	Densidad poblacional	20
3.18	Diagnóstico territorial	21
3.19	Ordenamiento territorial	21
3.20	Uso de suelo	22
3.21	Calidad del agua	22
3.22	Cuenca hidrográfica	23
3.23	Índice de calidad de agua -ICA-	23
3.23.1	Aplicación del índice	27
3.24	Contaminación del agua	34
3.25	Desechos sólidos	35
3.26	Principales contaminantes del agua	35
3.26.1	Agentes patógenos	35
3.26.2	Desechos orgánicos	35
3.26.3	Sustancias químicas inorgánicas	36
3.26.4	Sustancias químicas orgánicas	36
3.26.5	Sedimentos materiales suspendidos	36
3.26.6	Nutrientes vegetales inorgánicos	36
3.26.7	Calor	37
4.	MARCO REFERENCIAL	38

4.1	Departamento de Chiquimula	38
4.2	Municipios de Chiquimula	39
4.2.1	Economía	41
4.2.2	Desarrollo social	41
4.3	Movilidad del municipio urbano y rural	42
4.4	Granos básicos	43
4.5	Cabecera departamental de Chiquimula	43
4.5.1	Zonas del casco urbano de Chiquimula	43
4.5.2	Aldeas	45
4.5.3	Caseríos	46
4.5.4	Caracterización socioeconómica	46
4.6	Servicios básicos e infraestructura	47
4.6.1	Alcantarillado	47
4.6.2	Energía eléctrica	48
4.6.3	Agua potable	48
4.6.4	Agua potable y saneamiento	49
4.6.5	Residuos, desechos sólidos y extracción	50
4.7	Zona 3 de la ciudad de Chiquimula	50
4.7.1	Carencias	51
4.8	Zona 4 de la ciudad de Chiquimula	52
4.8.1	Carencias	53
5.	MARCO METODOLÓGICO	55
5.1	Objetivos	55
5.1.1	Objetivo general	55
5.1.2	Objetivos específicos	55
5.2	Técnicas	55

5.3	Selección y definición del área de estudio	55
5.4	Geoposicionamiento de puntos de control para la producción de ortofotos	56
5.4.1	Levantamiento de información en campo	56
5.5	Catastro geoambiental y boleta	58
5.5.1	Encuesta sobre manejo de desechos sólidos	58
5.5.2	Desarrollo	59
5.6	Mapeo de elementos territoriales contaminantes	60
5.7	Foro de regularización	61
5.8	Muestra de agua del río Tacó	61
5.9	Esquema de actividades	63
6.	RESULTADOS	64
6.1	Inventario predial en la parte baja de la microcuenca del Río Tacó	64
6.2	Inventario predial por zonas	66
6.3	Uso del suelo	67
6.4	Niveles de construcción	69
6.5	Habitantes por vivienda	70
6.6	Análisis de predios ubicados en zona de riesgo de la parte baja del Río Tacó	72
6.7	Desechos que más producen en las viviendas	74
6.8	Cantidad de bolsas (30 litros) de basura por semana	76
6.9	Clasificación de desechos	77
6.10	Proceso de almacenamiento de la clasificación de desechos	79
6.11	Producción de aboneras	80
6.12	Recolección de desechos	82
6.13	Proceso de desechar la basura por los habitantes	83
6.14	Viviendas con servicio de drenaje	85
6.15	Puntos de control	86

6.16	Modelo Digital de Elevación	87
6.17	Modelo Digital del Terreno	88
6.18	Sitios de contaminación	89
6.19	Foro de regularización	91
6.20	Muestras de agua	91
6.21	Proceso para determinar el Índice de Calidad del Agua	96
6.21.1	PH	98
6.21.2	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	102
6.21.3	Nitratos	104
6.21.4	Fosfatos	108
6.21.5	Temperatura	112
6.21.6	Turbidez	116
6.21.7	Sólidos disueltos totales	118
6.21.8	Oxígeno disuelto	122
6.21.9	Oxígeno disuelto	122
6.21.10	Resultados de valor ICA	126
7.	CONCLUSIONES	138
8.	RECOMENDACIONES	140
9.	REFERENCIAS	142
10.	APÉNDICES	151

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Área de estudio	4
Figura 2. Cartel de advertencia para no desechar basura	7
Figura 3. Coliformes fecales	28
Figura 4. pH	28
Figura 5. Demanda biológica de oxígeno	29
Figura 6. Nitratos	29
Figura 7. Fosfatos	30
Figura 8. Temperatura	31
Figura 9. Turbidez	31
Figura 10. Sólidos disueltos totales	32
Figura 11. Oxígeno disuelto	33
Figura 12. Mapa de ubicación del departamento de Chiquimula	39
Figura 13. Ubicación municipio de Chiquimula	40
Figura 14. Mapa de las zonas del casco urbano de Chiquimula	45
Figura 15. Mapa de los departamentos seleccionado para la muestra de CONRED	48
Figura 16. Mapa de las zonas 3 y 4 del municipio de Chiquimula, Chiquimula	54
Figura 17. Actividades desarrolladas	63
Figura 18. Proceso del inventario predial	65
Figura 19. Mapa de predios digitalizados	65
Figura 20. Cantidad de predios de las zonas 3 y 4	66
Figura 21. Mapa de predios digitados por zona	67
Figura 22. Cantidad de predios por uso del suelo	68
Figura 23. Mapa de uso del suelo	68

Figura 24. Cantidad de predios por nivel de construcción	69
Figura 25. Mapa de los niveles de las viviendas	70
Figura 26. Rango de cantidades de habitantes por predios	71
Figura 27. Mapa de habitantes por vivienda	72
Figura 28. Predios vulnerables por inundaciones en la parte baja de la cuenca Tacó	74
Figura 29. Cantidad de tipo de basura que más producen	75
Figura 30. Mapa del tipo de basura que más producen	75
Figura 31. Cantidad de bolsas de basura por semana	76
Figura 32. Mapa de cantidad de bolsas de basura que se producen por semana	77
Figura 33. Cantidad en predios que clasifican los desechos	78
Figura 34. Mapa de clasificación de la basura	78
Figura 35. Proceso de clasificación de desechos	79
Figura 36. Proceso de clasificación de desechos en la parte baja de la cuenca río Tacó	80
Figura 37. Producción de aboneras	81
Figura 38. Producción de aboneras orgánicas en la parte baja de la cuenca del río Tacó	81
Figura 39. Días de recolección de basura	82
Figura 40. Mapa de días de recolección de basura	83
Figura 41. Proceso de desechar la basura	84
Figura 42. Mapa de las formas de deshacerse de la basura	84
Figura 43. Cantidad de viviendas con servicio de drenaje	85
Figura 44. Mapa de viviendas con servicios de drenaje	86
Figura 45. Mapa de puntos de control y generación de la ortofotomosaico	87
Figura 46. Mapa de modelo digital de elevación	88
Figura 47. Mapa de modelo digital del terreno	89
Figura 48. Mapa de sitios de contaminación en el área de estudio	90
Figura 49. Muestras de agua del río Tacó	92

Figura 50. Resultados de la conductividad en la muestra de agua	94
Figura 51. Resultados de pH en la muestra de agua	94
Figura 52. Resultados de la temperatura en la muestra de agua	95
Figura 53. Resultados de los sólidos disueltos totales en la muestra de agua	95
Figura 54. Resultados del oxígeno disuelto en la muestra de agua	95
Figura 55. Resultados del ORP en la muestra de agua	96
Figura 56. Coliformes fecales en captación	97
Figura 57. Coliformes fecales en salida planta (sin cloración)	97
Figura 58. Coliformes fecales en salida planta (con cloración)	98
Figura 59. PH en captación	99
Figura 60. PH en Valle Nuevo	99
Figura 61. PH en Colonia el Maestro/Cementerio	100
Figura 62. PH en INTECAP	100
Figura 63. PH en desfogue	101
Figura 64. PH en Salida Planta (sin cloración)	101
Figura 65. PH en salida planta (con cloración)	102
Figura 66. Demanda Biológica de Oxígeno en Captación	103
Figura 67. Demanda Biológica de Oxígeno en Salida planta (sin cloración)	103
Figura 68. Demanda Biológica de Oxígeno en Salida Planta (con cloración)	104
Figura 69. Nitratos en captación	105
Figura 70. Nitratos en Valle Nuevo	105
Figura 71. Nitratos en Colonia Maestro/Cementerio	106
Figura 72. Nitratos en INTECAP	106
Figura 73. Nitratos en desfogue	107
Figura 74. Nitratos en salida planta (sin cloración)	107
Figura 75. Nitratos en Salida planta (con cloración)	108

Figura 76. Fosfatos en captación	109
Figura 77. Fosfatos en Valle Nuevo	109
Figura 78. Fosfatos en Colonia Maestro/Cementerio	110
Figura 79. Fosfatos en INTECAP	110
Figura 80. Fosfatos en desfogue	111
Figura 81. Fosfatos en salida planta (sin cloración)	111
Figura 82. Fosfatos en salida planta (con cloración)	112
Figura 83. Cambio de temperatura en captación	113
Figura 84. Cambio de temperatura en Valle Nuevo	113
Figura 85. Cambio de temperatura en Colonia Maestro/Cementerio	114
Figura 86. Cambio de temperatura en INTECAP	114
Figura 87. Cambio de temperatura en desfogue	115
Figura 88. Cambio de temperatura en salida planta (sin cloración)	115
Figura 89. Cambio de temperatura en salida planta (con cloración)	116
Figura 90. Turbidez en salida planta (sin cloración)	117
Figura 91. Turbidez salida planta (con cloración)	117
Figura 92. Sólidos disueltos totales en captación	118
Figura 93. Sólidos disueltos totales en Valle Nuevo	119
Figura 94. Sólidos disueltos totales en Colonia Maestro/Cementerio	119
Figura 95. Sólidos disueltos totales en INTECAP	120
Figura 96. Sólidos disueltos totales en desfogue	120
Figura 97. Sólidos disueltos totales en salida planta (sin cloración)	121
Figura 98. Sólidos disueltos totales en salida planta (con cloración)	121
Figura 99. Oxígeno disuelto en captación	123
Figura 100. Oxígeno disuelto en Valle Nuevo	123
Figura 101. Oxígeno disuelto en Colonia Maestro/Cementerio	124

Figura 102. Oxígeno disuelto en INTECAP	124
Figura 103. Oxígeno disuelto en desfogue	125
Figura 104. Oxígeno disuelto en salida planta (sin cloración)	125
Figura 105. Oxígeno disuelto en salida planta (con cloración)	126
Figura 106. Mapa del Índice de calidad del agua del año 2010	136
Figura 107. Mapa del índice de calidad del agua año 2023	137

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación del ICA propuesta de Brown	24
Tabla 2. Peso relativo de los parámetros	26
Tabla 3. Criterios generales de Índice de Calidad de Agua –ACA-	27
Tabla 4. Solubilidad de oxígeno en agua dulce	32
Tabla 5. Parámetros base para el procesamiento de resultados	34
Tabla 6. Coordenadas de puntos de control	56
Tabla 7. Coordenadas de puntos de contaminación	60
Tabla 8. Coordenadas de muestras de agua	62
Tabla 9. Uso del suelo y niveles de construcción de los inmuebles	73
Tabla 10. Resultados de la muestra de agua en el laboratorio	92
Tabla 11. Coliformes fecales	96
Tabla 12. PH	98
Tabla 13. Demanda biológica de oxígeno	102
Tabla 14. Nitratos	104
Tabla 15. Fosfatos	108
Tabla 16. Temperatura	112
Tabla 17. Turbidez	116
Tabla 18. Sólidos disueltos totales	118
Tabla 19. Oxígeno disuelto	122
Tabla 20. Solubilidad del oxígeno en agua dulce	122
Tabla 21. Valor del ICA en la captación	126
Tabla 22. Valor del ICA en Valle Nuevo	127
Tabla 23. Valor del ICA en colonia Maestro/Cementerio	128

Tabla 24. Valor del ICA en INTECAP	128
Tabla 25. Valor del ICA en desfogue	129
Tabla 26. Valor del ICA en salida planta (sin cloración)	129
Tabla 27. Valor del ICA en salida planta (con cloración)	130
Tabla 28. Calidad general del agua	131
Tabla 29. Calidad del agua según los criterios generales de uso	132
Tabla 30. Análisis ICA de investigación realizada por Jennifer Nataly King Calderón	132
Tabla 31. Análisis ICA de investigación realizada por José Ramiro García Álvarez	133
Tabla 32. Análisis ICA comparativo	134
Tabla 33. Análisis ICA del punto intermedio del río Tacó	135
Tabla 34. Análisis ICA del desfogue del río Tacó	136

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos son fuentes de vitalidad para las comunidades. En el caso de Chiquimula, se encuentran tres ríos que atraviesan diferentes puntos de la ciudad; uno de ellos es el río Tacó, vertiente de relevancia por su céntrica ubicación. Lamentablemente, este río se ha degradado como consecuencia de la contaminación, convirtiéndose en un lugar con apariencia y ambiente desagradable.

Por este motivo, se procedió a la realización de un estudio con el objeto de contribuir en el proceso de planificación y gestión territorial de los recursos naturales a través de la generación de información cartográfica y descriptiva de la contaminación por desechos sólidos y aguas residuales en la parte baja de la microcuenca del río Tacó en la ciudad de Chiquimula.

Para cumplir con este propósito se procedió a la caracterización del área de estudio, lo que incluye contaminación por desechos sólidos, el desarrollo de un plan de fortalecimiento de las capacidades que respondan a las necesidades de los habitantes involucrados y la capacitación a la población local sobre el manejo de estos y el adecuado aprovechamiento del recurso hídrico.

Para la investigación se seleccionó, como área de estudio, una zona próxima a la cuenca del río Tacó, entre las zonas 3 y 4 del casco urbano de Chiquimula, lugar del que se obtuvieron ortofotos que se emplearon para el mapeo y elaboración de un catastro geoambiental.

Como resultado, se determinó que de 548 predios que conforman el inventario, 53 (9.67%) no hacen uso del tren de aseo y no se encuentran conectados al servicio de drenaje, encontrándose en las categorías de construcción de sus viviendas baja y precaria; en 24 (4.38%) los habitantes realizan la quema de los desechos, en 29 (5.29%) los habitantes entierran o tiran sus desechos sólidos y aguas residuales al cauce del río, incrementando la contaminación del recurso hídrico y el ambiente. Por ello, es importante que sea realicen gestiones de desarrollo

territorial juntamente con la población en el área de estudio, para la conservación del recurso hídrico de la cuenca del río Tacó, empleando como herramienta la información gráfica y alfanumérica generada.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

Para efectos de este trabajo, el área de estudio abarca parte de las zonas 3 y 4 del casco urbano de Chiquimula; ya que, como expone Ramos Cantoral (2018), la ciudad de Chiquimula no cuenta con un Plan de Ordenamiento Territorial -POT-, lo que ha ocasionado ciertos inconvenientes y frenado el alcance de un desarrollo integral.

Dentro de los problemas identificados en el área de estudio, se encuentran la escasez y mala distribución del servicio de agua entubada; de igual manera, se reconocen limitantes en la prestación de otros servicios básicos por parte de la municipalidad. Consecuentemente, el que el territorio se distribuyera sin lineamientos establecidos ha ocasionado que este se expanda sin control o planificación.

Aunado a lo expuesto, parte de la contaminación del río Tacó ha sido provocada por los desechos que se arrojan al afluente en todo el trayecto, es decir, en la parte alta, media y baja de la microcuenca. Este aspecto fue otro de los motivos de análisis, debido a que no se conoce la cantidad y forma en la que la población del área de estudio se deshace de los desechos sólidos.

2.1.1 Servicio de recolección

Se reconoce que, en la zona a estudio la mayor parte de los vecinos producen una cantidad inmesurable de basura a la semana y que, en su totalidad, cuentan con el servicio de recolección de basura, mismo que es brindado por una empresa privada. Algunos lo pagan por su propia cuenta, mientras que para aquellos que no tienen la posibilidad de pagar a dicha empresa, la municipalidad es quien les brinda el servicio. Sin embargo, el servicio de recolección

no tiene acceso a todas las áreas cercanas al afluente para los afectados, la opción que han considerado más viable ha sido quemar la basura cada día para que no se acumule.

Otro aspecto a considerar es que existe cierto grado de clasificación de los desechos, ya que extraen de los residuos el plástico para que sea vendido a personas particulares con el objetivo de generar ingresos extras en sus hogares.

En la figura 1 se muestra la ubicación del área de estudio que comprende los predios de las zonas 3 y 4 del casco urbano del municipio de Chiquimula cercanos al río Tacó.

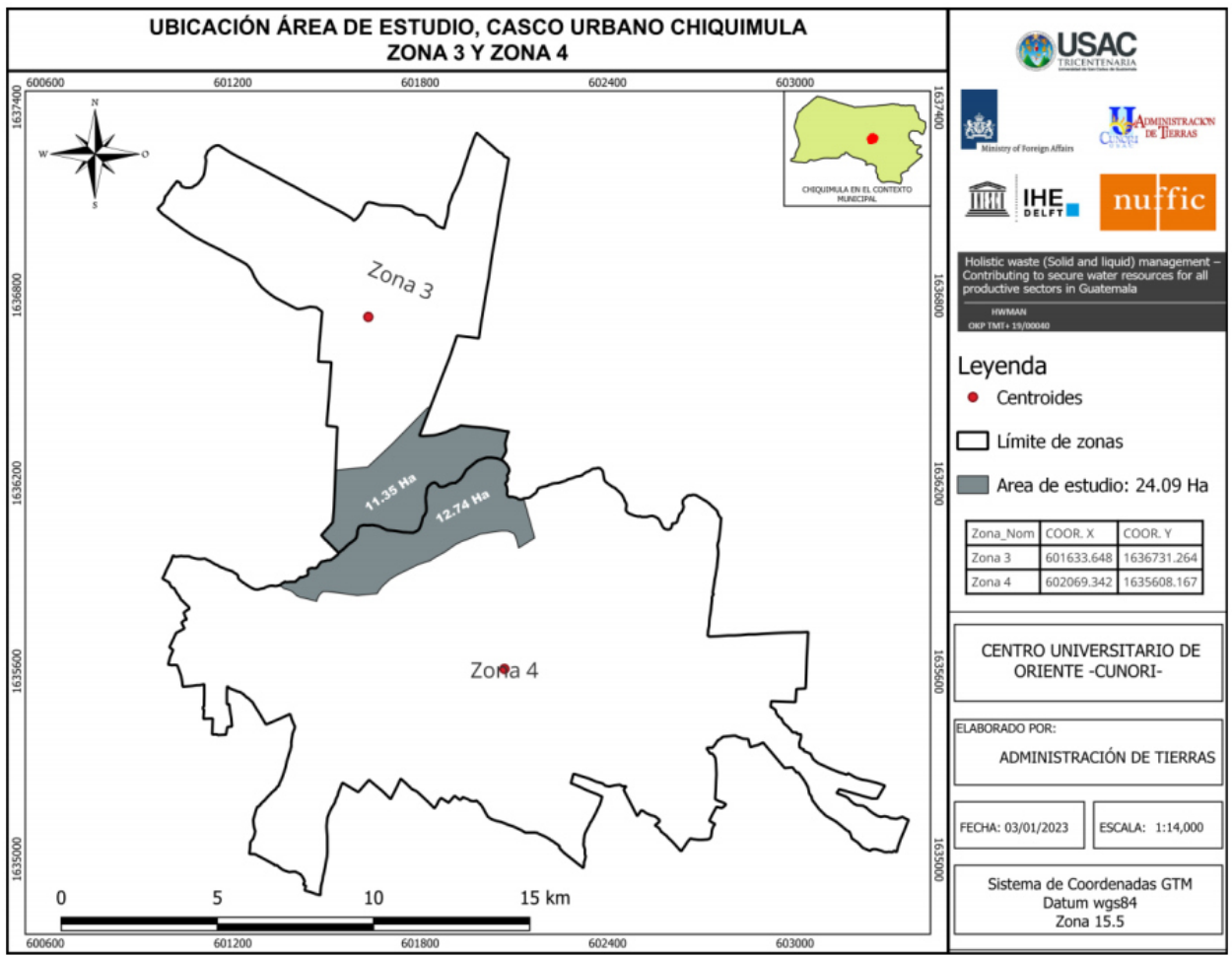


Figura 1. Área de estudio

2.1.2 Microcuenca río Tacó

La microcuenca del río Tacó se encuentra ubicada en el municipio y departamento de Chiquimula, en las coordenadas geográficas Latitud Norte 14° 47' 37", Longitud Oeste 89° 33' 20", teniendo una extensión territorial de 26.4 km².

La cuenca es de suma importancia para el desarrollo socioeconómico de las comunidades y ciudad de Chiquimula, gracias al servicio de abastecimiento de agua que provee. Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN- (como se citó en García Álvarez, 2009), Chiquimula se abastece del 60% de las aguas superficiales del río Tacó; además, las aldeas que integra la subcuenca del río Tacó dependen de los nacimientos de agua que terminan por formar el cauce principal (García Álvarez, 2009).

Los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa y Chiquimula constituyen lo que se conoce como corredor seco. Esta zona es caracterizada por padecer de lluvias irregulares y sequías que afectan directamente a la agricultura. Con base a los señalamientos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- de Guatemala, se estima que las pérdidas en cosecha pueden rondar entre el 60 a 80% en eventos extremos de sequía, lo cual compromete la seguridad alimentaria del país.

Actualmente, desechos domésticos y provenientes de industrias, efluentes no tratados y aguas residuales de las comunidades urbanas y rurales, terminan en los ríos. Si bien existe preocupación por parte de los gobiernos y grupos ambientalistas, gran parte del problema ocurre por la falta de conciencia y educación ambiental de los habitantes.

Por otra parte, las estrategias de concientización y sensibilización no siempre tienen los efectos esperados ya que carecen de estudios y propuestas técnicas que brinden soluciones a corto, mediano y largo plazo.

2.1.3 Hallazgos y necesidades

El alto grado de vulnerabilidad a inundaciones en esta área es tal que las viviendas de los vecinos quedan anegadas; incluso, muchas veces, las calles quedan intransitables, lo que podría derivar en accidentes.

En otras líneas, la actividad comercial de esta área se encuentra basada, principalmente, de tiendas de abarrotes, pequeños comercios como salones de belleza, pastelerías, talleres mecánicos, ventas de tortillas y chatarrerías, demostrando que no solo cuenta con predios de uso habitacional sino también comercial o mixto.

2.1.4 Residuos en las calles

Uno de los inconvenientes que manifiestan los vecinos del río Tacó, es que algunas personas dejan y esparcen bolsas de basura en distintos puntos de la zona, afectando no solo el aspecto visual del área, sino que indignando a la población por las malas acciones de esos individuos. Cuando estos sujetos desechan su basura en la calle, son los vecinos los que deben accionar para deshacerse de los desechos pues si no lo hacen, algunos animales pueden esparcir la basura y traer como consecuencia la provocación de malos olores. Por ello, algunos vecinos han colocado rótulos donde manifiestan su inconformidad, como se muestra en la figura 2.

De la misma manera, los vecinos expresan que han intentado detener a los sujetos en cuestión, ya sea grabándolos y publicándolos en redes sociales o llamándoles la atención, pero poca ha sido la eficacia de estos actos; ya que continúan depositando su basura en el área.



Figura 2. Cartel de advertencia para no desechar basura

2.1.5 Animales afectados por la contaminación

Los desechos esparcidos en las calles y orillas del río, en su mayoría, son inorgánicos; así que, además de afectar a los vecinos, son un peligro y riesgo para los animales. Después de todo no solo las personas habitan esa zona, sino también animales domésticos y de granja, como cerdos, pollos, gallinas y patos.

Al igual que los seres humanos, los animales también corren el riesgo de enfrentarse a algún tipo de peligro por estar viviendo cerca de puntos altamente contaminados. Tomando en cuenta que algunos animales pasan afuera de sus hogares y pueden hurgar en la basura que está en las calles o río, corren el riesgo de ingerir algún objeto que pueda dañar su sistema digestivo y provocar problemas de salud o incluso llevarlos a la muerte. Según narran algunos vecinos, algunas de sus mascotas han fallecido a causa de los desechos que ingieren.

En el lugar se han observado animales de patio comiendo basura a orillas del río o en las calles, lo que podría traer consecuencias perjudiciales para las personas que ingieran la carne

de los animales, dañando progresivamente al consumidor. Esto se ve particularmente con los cerdos, pollos, gallinas y patos, ya que son los que más libertad tienen de andar merodeando por esas áreas y, en algunas ocasiones, ganado vacuno que pasa por el lugar.

El ser humano es consciente de que no debe alimentarse de los desechos, mientras que, los animales comen como acto propio de su naturaleza, lo que trae como consecuencia afectación a su salud y desarrollo.

2.2 Estudios relacionados

En el contexto temático y espacial, García Álvarez(2009) realizó un estudio en el que determinó las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tacó en el que con base a las características identificadas explica que, para las áreas de potencial moderado, se puede proceder con el manejo y control de las actividades agropecuarias y la eliminación de focos de contaminación como enfoques prioritarios. Asimismo, expuso que las zonas con potencial bajo y muy bajo necesitan de prácticas agrícolas que minimicen el impacto de la actividad humana y la administración efectiva del territorio, especialmente en las zonas cercanas a la ciudad de Chiquimula.

En el año 2010 se llevó a cabo una investigación sobre la contaminación que provocan las aguas servidas en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula. Dicho estudio fue realizado con el propósito de hacer notar la necesidad de generar políticas y estrategias para el manejo adecuado del recurso hídrico por parte de las autoridades gubernamentales y la población de la ciudad de Chiquimula.

Como parte del proceso investigativo, se determinó el Índice de Calidad de Agua -ICA- de la red hídrica río Tacó. Asimismo, se establecieron 2 puntos de control en el río para analizar 9 parámetros.

Con los valores obtenidos del ICA se determinó que, en la corriente superficial del río al pasar por la ciudad de Chiquimula, se muestran niveles que reflejan la contaminación provocada por la descarga de aguas servidas de forma directa; encontrándose que el agua del río Tacó muestra considerable variación en los valores de los parámetros del ICA (García Álvarez, 2010).

En el año 2015 se llevó a cabo una caracterización sobre la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Tacó con el objeto de establecer el Índice de Calidad de Agua, determinar la concentración de metales pesados (plata, plomo y arsénico) y proponer estrategias para el manejo del recurso hídrico de la ciudad de Chiquimula (King Calderón, 2017).

Para el desarrollo de la investigación, se establecieron 4 puntos de control en el río Tacó y se analizaron 9 parámetros, de acuerdo con el Índice de Calidad de Agua propuesto y metales pesados, en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente.

Con los resultados se determinó que los parámetros de dureza, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, coliformes fecales y totales, se encontraban en los niveles superiores al límite máximo permisible establecidos por la Organización Mundial de la Salud -OMS- y la norma COGUANOR. La investigadora concluyó que el agua de la red hidrológica superficial de Chiquimula no era apta para consumo humano; por lo tanto, tiene efectos negativos en la salud del consumidor (King Calderón, 2017).

2.3 Planteamiento del problema

Según Forero Patiño (2015), la cartografía es una herramienta de trabajo que permite, a quienes se educan en ella, establecer mecanismos de sostenibilidad; lo que es un elemento clave en el desarrollo de programas y proyectos de vocación; ya que es a través de esta manera que se enseña a leer y escribir en términos territoriales y así, “identificar problemas, proponer soluciones, extraer la información necesaria para el logro de los objetivos propuestos, aplicar los

conocimientos a la realidad, [...] e implicarse de manera activa y consciente en su mejora y conservación” (Jerez y Sánchez, 2004, como se citó en Rodríguez, Villegas, 2020, p. 19).

Ante esto, Betancurth y colegas (2020) sostienen que existe una necesidad latente de reconocer y emplear “herramientas participativas que permitan explorar los activos para la salud a partir del reconocimiento del territorio por parte de la comunidad” (p. 138), debido a que la salud de los habitantes es parte esencial del progreso de los pueblos (Rodríguez Varela, 2016).

El mapa es una forma de expresión, de representación y de sistematización del conocimiento y ello ha contribuido a que una gran parte de la población considere la Geografía como la disciplina que se interesa por los mapas y la localización. Por otra parte, desde el punto de vista didáctico, el mapa es un importante instrumento en el proceso del aprendizaje geográfico porque su uso facilita el desarrollo de las destrezas cartográficas y la comprensión de las características del espacio y del funcionamiento del territorio (Álvarez Orellana, 2002).

Por ello, Piumetto (2020) sostiene que es clave implementar Sistemas de Información Territorial vinculados a bases de datos digitales de calidad, ya que son piezas esenciales en la instrumentación técnica, así como las infraestructuras de datos espaciales (IDE) que permiten acceder a las características del inmueble.

A esta cuenta, los temas relacionados con la conservación y mantenimiento del recurso hídrico en el municipio de Chiquimula no han abordado el aspecto geográfico y de los sistemas de administración de tierras en las investigaciones; por lo tanto, partiendo del hecho de que este recurso natural, que abastece a la cabecera departamental como una fuente de agua para la población en general, se afecta por la contaminación a falta de un Plan de Ordenamiento Territorial en la conservación del mismo, es preciso exponer a la población el estado del río Tacó y la necesidad de establecer mecanismos para conservar y mantener el recurso para las futuras generaciones.

Debido al desconocimiento de los ciudadanos sobre las consecuencias de la contaminación del río Tacó, accionan de maneras que afectan la calidad del agua y, a su vez, la flora y fauna, ya que los agentes contaminantes tienen origen antropogénico: aguas servidas, basureros no autorizados, agroquímicos y geológicos; mismos que afectan directamente la salud de los consumidores del recurso, ya sea en el uso doméstico, humano o animal. Así mismo, existe un margen en la población que no toma en consideración los procesos adecuados para desechar la basura.

Desde el punto de vista ambiental y dentro de la planificación territorial del municipio, esto se une la creciente demanda y presión por el recurso hídrico que afronta la ciudad de Chiquimula, especialmente, para uso doméstico e industrial.

Sin embargo, el gobierno local no dispone de información geográfica y descriptiva que sirva como base para el diseño de estrategias que generen grandes impactos en las líneas de: manejo y uso de recursos hídricos, gobernabilidad de recursos hídricos y ordenamiento territorial en la parte baja de la microcuenca del río Tacó.

2.4 Justificación

El agua dulce es un bien natural de gran importancia para la población y el desarrollo del territorio. Se reconoce que el recurso hídrico puede obtenerse de manera superficial, como en el caso de ríos y lagos o en forma subterránea; estas fuentes hídricas son alimentadas según la hidrología por áreas geográficas conocidas como zona de recarga, mismas que, dependiendo de sus características, mantienen el suministro de ríos, lagos y otros cuerpos de agua dulce.

Con el crecimiento informal de las áreas urbanas, incrementa la necesidad del aprovechamiento del recurso hídrico, como lo es en el caso del municipio de Chiquimula del departamento de Chiquimula; ya que con el crecimiento de la población ha aumentado la

necesidad de contar con fuentes hídricas para el suministro de agua para uso domiciliario e industrias; una de ellas es el río Tacó.

La microcuenca del río Tacó se encuentra ubicada en el municipio y departamento Chiquimula, en las coordenadas geográficas Latitud Norte 14° 47' 37", Longitud Oeste 89° 33' 20", teniendo una extensión territorial de 26.4 km². Esta es de suma importancia para el desarrollo socioeconómico de las comunidades y de la ciudad de Chiquimula, por el servicio de abastecimiento de agua que provee. Se estima que Chiquimula se abastece del 60% de las aguas superficiales del río Tacó; además, las aldeas que integran las subcuentas del río (García Álvarez, 2009).

Por lo tanto, el caudal del río Tacó tiene influencia directa en la prestación del servicio de agua para el consumo domiciliario e industrial que brinda el gobierno local. Sin embargo, la responsabilidad de conservar y mantener el recurso hídrico del río Tacó corresponde tanto a las autoridades como a las entidades y ciudadanos del municipio. Por ello, es preciso que la población se sensibilice, concientice y comprometa con la reducción de la contaminación provocada por basureros no autorizados que afectan directamente al río Tacó.

El presente estudio de investigación aportará información importante de la situación en la que se encuentra el recurso hídrico a través de una caracterización de la parte baja del río Tacó que comprende parte de las zonas 3 y 4 del casco urbano de la ciudad de Chiquimula.

La culminación del estudio de investigación aportará información descriptiva y cartográfica de la calidad del agua del río Tacó, el inventario predial del área de estudio y la información recolectada en cada predio sobre la disposición de los desechos sólidos domésticos y ubicación geográfica de puntos de contaminación; así como actividades de sensibilización y divulgación a la población respecto a la condición del río Tacó mediante un foro informativo y una capacitación para compartir estrategias de conservación del mismo.

Todo esto sujeto a la relación que debe existir entre la sociedad, las autoridades políticas y el territorio, a través de sistemas de administración de tierras funcionales, tanto desde el aspecto formal como el informal, donde coexisten diferentes actores, cada uno desarrollando su rol específico para el funcionamiento oportuno de los espacios.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Sistema de administración de tierras -SAT-

El paradigma de un SAT consiste en la construcción de un sistema capaz de emprender funciones centrales de la tenencia, el valor, el uso y la urbanización de la tierra con el propósito específico de lograr el desarrollo sostenible.

Los modelos de servicios en la gestión del territorio deben construirse de acuerdo con las ideas locales acerca de la tierra y la incorporación de sus significados actuales, espirituales, sociales y místicos. Esto implica que una buena gestión en el territorio debe entenderse desde la gobernanza apropiada, ya que dicha gestión es el rol de un sistema de administración de tierras donde las personas construyen relaciones armoniosas con el territorio (Williamson et al., 2014).

3.1.1 Sistema de administración de tierras y contaminación del agua

Williamson y colaboradores (2014) detallan que el paradigma de la administración de tierras consiste en que puede ser utilizado por entidades para diseñar y construir modelos de tenencia, valor, uso y urbanización con múltiples y flexibles propósitos.

Según el Grupo de Expertos en Administración y Gestión de Tierras (2019), “la administración de tierras se considera responsable cuando alinea continuamente procesos y recursos con demandas sociales dinámicas” (p. 11). Esto parte de que el concepto de la tierra toma en cuenta elementos como los cuerpos de agua: ríos, lagos, mares y océanos. En este contexto, si no se implementan sistemas de administración de tierras que velen por el cuidado y mantenimiento de los recursos naturales, la consecuencia es la contaminación y la pérdida de los recursos.

3.2 Modelo digital de elevaciones -MDE-

Se denomina Modelo Digital de Elevaciones -MDE- a un modelo simbólico, de estructura numérica y digital que pretende representar la distribución espacial de la elevación del terreno, siendo la altura una variable escalar (sobre un nivel de referencia) que se distribuye en un espacio bidimensional (López Miranda, 2021).

3.3 Modelos digitales del terreno -MDT-

Un MDT se define como una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas X, Y e Z respecto a un sistema de georreferenciación conocido. Básicamente es la representación digital en tercera dimensión de un terreno con su superficie al desnudo, sin vegetación o edificios, creada a partir de datos de latitud, longitud y altitud de punto.

La integración de los MDT en los Sistemas de Información Geográfica -SIG- abre las puertas a los métodos de representación de la realidad y de simulación de procesos que complementan la capacidad clásica de los SIG para el manejo de la información (Carretero Segarra, 2015).

3.4 Fotogrametría aérea digital

La fotogrametría aérea es una técnica que consiste en realizar mediciones en base a fotografías tomadas desde una aeronave, a fin de determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales de las imágenes obtenidas (Carretero Segarra, 2015).

3.5 Drones

Los drones son vehículos aéreos no tripulados, de pequeñas dimensiones que llevan a bordo distintos instrumentos. Para aplicaciones en las geociencias, los drones pueden llevar

montadas cámaras fotográficas de alcance en el rango visible, así como también cámaras multiespectrales e hiperespectrales que incluyen otras regiones del espectro electromagnético (visible + infrarrojo cercano y medio), cámaras térmicas y dispositivos LIDAR para la elaboración de MDE (López Miranda, 2021).

3.6 Internet

La Internet ha sido desde su creación la red más grande y utilizada a nivel mundial, contando con millones de usuarios en todo el mundo, transmitiendo enormes cantidades de datos entre distintos sitios geográficos y almacenando en toda la infraestructura que la conforma una inmensa cantidad de información, la cual es accedida, creada y utilizada por los usuarios (Catalán López, 2012).

3.7 Sistema de Información Geográfica -SIG-

Se reconoce como SIG a los sistemas diseñados para manejar información geográfica y datos temáticos asociados siendo este una herramienta para la utilización de presentar y preparar hechos que ocurren sobre la superficie terrestre. Así es como fue posible pasar de una cartografía análoga en papel a una cartografía automatizada (Ochoa Polo, 2015).

Aunque la literatura presenta diversas definiciones de un SIG, la definición más usada es la propuesta por Dueker y Kjeme (como se citó en Medel Agustín, 2015), quienes explican que un SIG es un sistema integrado por equipos, programas, métodos, personas y aspectos institucionales para recolectar, almacenar, analizar datos geográficos y generar información de apoyo a la toma de decisiones.

3.8 Quantum Gis -QGIS-

Es un programa de SIG de escritorio amigable de código abierto donde se puede visualizar, administrar, editar, analizar datos y componer mapas. Incluye una potente funcionalidad de análisis. Funciona en Linux, Unix, Mac OSX y Windows, soporta numerosas funcionalidades y formatos vector, raster y bases de datos (Moya-Zamora y Cedeño-Montoya, 2017).

3.9 Modelo vectorial

El modelo vectorial se sirve, normalmente, de tres elementos geométricos para representar la realidad: punto, línea y polígono.

- Punto: objeto adimensional que queda representado por un par de coordenadas (x e y). Es la simple localización de un fenómeno.
- Línea: objeto unidimensional que es una sucesión abierta de puntos. Se utiliza para representar elementos lineales como pueden ser: vías de comunicación y redes eléctricas.
- Polígono: objeto bidimensional que es una sucesión de puntos que cierran el espacio donde el primer y último punto tienen el mismo par de coordenadas. Se utiliza para representar superficies como ámbitos territoriales y parcelas (Medel Agustín, 2015).

El formato ESRI *Shape file* es un formato compuesto por varios archivos. Dentro de ellos hay tres que son indispensables y sin ellos no se puede acceder a la información guardada.

- shp: se trata del archivo principal y se almacena la información geométrica de los elementos de la capa en formato vectorial.
- shx: consiste en un índice de las entidades geométricas que permite refinar las búsquedas dentro del archivo shp.
- dbf: base de datos, en formato dBASE, donde se almacena la información de los atributos de los objetos. En los *Shape files*, las tablas dBase se emplean para asignar atributos

numéricos, de texto o de fecha a los registros contenidos en el archivo principal (Medel Agustín, 2015).

3.10 Modelo raster

El modelo raster se basa en una serie de unidades mínimas denominadas celda. Estas celdas forman una matriz, dividida en filas y columnas, donde cada celda recoge la información pertinente que representa mediante la coordenada de localización como el valor a representar. LA celda es indivisible y exclusiva. El concepto de celda en una malla ráster equivaldría al de un píxel en una imagen (Medel Agustín, 2015).

3.11 Shape file

Es un elemento clave en la aplicación de programas de SIG vectorial que están basados en la representación vectorial de los componentes espaciales de los datos geográficos. Se considera que la realidad está dividida en una serie de objetos discretos (puntos, líneas, polígonos) a los que se les pueden asignar diversas propiedades, cualitativas o cuantitativas. Estos objetos se codifican por su posición en el espacio (puntos y líneas) o por la posición de sus límites (polígonos).

O sea, el modelo vectorial utiliza para la descripción de los objetos geográficos vectores definidos por pares de coordenadas (x, y). Estos objetos pueden tener distintos atributos a representar. Por lo tanto, esta es la principal ventaja frente al modelo ráster donde una celda solo puede tener un único atributo (Medel Agustín, 2015).

3.12 Sistema de coordenadas

Es un conjunto de valores que permiten definir unívocamente la posición de cualquier punto de un espacio geométrico respecto de un punto llamado origen (Moya-Zamora y Cedeño-Montoya, 2017).

Para Guatemala, se establecieron los parámetros del sistema oficial de coordenadas Guatemala Transversal Mercator -GTM- con Datum WGS 1984, quedando dentro de la zona 15.5.

3.13 Base de datos espacial

Una base de datos espacial es un sistema de base de datos tradicional al cual se le añaden extensiones para poder guardar información geográfica y a su vez poder realizar análisis y transformación de esta (Medel Agustín, 2015).

Para ello se añaden nuevos tipos de datos como son el punto, línea y polígono que permiten modelar entidades geométricas en el espacio y con ellos una serie de funciones que operan entre ellas. Las principales funcionalidades serían:

- Mediciones espaciales: permiten calcular distancias entre los diferentes elementos geográficos (puntos, líneas y polígonos).
- Funciones espaciales: permiten trabajar con geometrías para modificarlas u obtener nuevas geometrías. Las principales funciones son:
 - Intersección: crear una nueva capa con la geometría común de dos capas de entrada.
 - Unión: crea una nueva capa combinando la geometría de dos capas de entrada.
 - Buffer: permite determinar la proximidad espacial entre dos geometrías. Para ello se generan contornos alrededor de una capa seleccionada y a una distancia determinada por el usuario (Medel Agustín, 2015).

3.14 Mapas

El mapa es una forma de expresión, de representación y de sistematización del conocimiento y ello ha contribuido a que una gran parte de la población considere la Geografía como la disciplina que se interesa por los mapas y la localización. Por otra parte, desde el punto de vista didáctico, el mapa es un importante instrumento en el proceso del aprendizaje geográfico porque su uso facilita el desarrollo de las destrezas cartográficas y la comprensión de las características del espacio y del funcionamiento del territorio (Álvarez Orellana, 2002).

3.15 Levantamiento del predio

Con base en la ley del Registro de Información Catastral, Decreto número 41-2005 del Congreso de la República de Guatemala, al realizar un levantamiento de predio en Guatemala, los esquineros deberán estar referidos a la Red de Apoyo Catastral. Además, deberán geoposicionarse otros elementos que se consideren de importancia para las finalidades del catastro, según lo establecido en las guías correspondientes.

3.16 Obtención de insumos cartográficos básicos y límites administrativos municipales

Consiste en recopilar toda la información gráfica existente de la zona a catastrar, así como establecer la sectorización del municipio con apoyo de las autoridades municipales, en función de la planificación de ordenamiento territorial que se tenga (Decreto número 41-2005 [Congreso de la Republica]).

3.17 Densidad poblacional

La densidad de población es la cantidad de habitantes por unidad de superficie terrestre. Frecuentemente se expresa en número de personas por kilómetro o millas cuadrados del

territorio escogido, que puede ser tan grande como un continente, un país, una ciudad o un distrito (Lifeder, c2020).

3.18 Diagnóstico territorial

El diagnóstico es la base para la elaboración de una iniciativa de desarrollo y es necesario para reconocer el potencial de desarrollo existente. El diagnóstico territorial está determinado por la voluntad social de llevar adelante una estrategia de desarrollo. Esta determinación permite formalizar una estrategia para el territorio. Es la vocación de transformación de ese territorio, previamente consensuada y reflexionada.

Solo un análisis sistemático permite a un territorio elaborar un diagnóstico que confronte sus aspiraciones y anhelos con las limitaciones, priorizando una estrategia viable y realista. El diagnóstico debe definir un plan de acción con objetivos y medidas que permitan, en última instancia, la mejora de la calidad de vida de los habitantes (Grupo Provincial de Apoyo a los Agentes de Empleo y Desarrollo Local, s.f.).

3.19 Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial se concibe como un proceso de diálogo y concertación ciudadana entre diferentes actores que con intereses particulares conviven en el territorio, el cual requiere de una relación de corresponsabilidad entre sociedad y gobierno municipal. La gestión del riesgo y los efectos del cambio climático son atendidos mediante una gestión integral del territorio como mecanismo para la reducción de amenazas y vulnerabilidades; y en la planificación y ordenamiento territorial, de adaptación y mitigación al cambio climático.

Es un elemento de la planificación del desarrollo que tiene como objetivo delimitar áreas de gestión territorial, para que por medio de directrices y lineamientos normativos se oriente la toma de decisiones, en función de la vocación del suelo y de las tendencias de crecimiento de

los lugares poblados y del desarrollo urbanístico. Por medio de la prospectiva territorial, se definen los usos y actividades que serán permitidos, condicionados o prohibidos en el municipio (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Subsecretaría de Planificación y Ordenamiento Territorial, 2018).

3.20 Uso de suelo

Es el dictamen por medio del cual la autoridad municipal o distrital competentes para expedir licencias, informa al interesado sobre el uso o usos permitidos en un predio o edificación, de conformidad con las normas urbanísticas de Plan de Ordenamiento Territorial y los instrumentos que lo desarrolle. La expedición de estos conceptos no otorga derechos ni obligaciones a su peticionario y no modifica los derechos conferidos mediante licencias que estén vigentes o que hayan sido ejecutadas (Iregui, 2013).

El uso de suelo se refiere a la ocupación de una superficie determinada en función de su capacidad agrológica y por tanto de su potencial de desarrollo, se clasifica de acuerdo con su ubicación como urbano o rural, representa un elemento fundamental para el desarrollo de la ciudad y sus habitantes ya que es a partir de estos que se conforma su estructura urbana y por tanto se define su funcionalidad (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F., 2003).

3.21 Calidad del agua

Según Casasola Garza (2014), el concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño; sin embargo, dependiendo del uso que se requieran para el agua, así se puede determinar la calidad para diferentes usos. La determinación de la calidad del agua se

basa en las condiciones en que se encuentra, respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

3.22 Cuenca hidrográfica

Sobre qué es una cuenca hidrográfica, García Álvarez (2009) señala que es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura del terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas.

En una cuenca hidrográfica se encuentran recursos naturales, la infraestructura que el hombre ha creado, allí él desarrolla sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica.

3.23 Índice de calidad de agua -ICA-

El Índice de Calidad del Agua (ICA), indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura: el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano al 100% (Ros Moreno, 2011).

Para conocer el grado de calidad de las aguas, independientemente del posible uso al que vayan a ser destinadas, se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros e indicadores. Estos datos, analizados y procesados, posteriormente se convierten en un valor numérico que permite obtener una serie de índices que determinan el estado general de las aguas en función de unos rangos de calidades establecidos. Estos índices se pueden clasificar fundamentalmente en dos tipos: fisicoquímicos y biológicos (Ros Moreno, 2011).

En la tabla 1 se presenta la clasificación del índice de calidad de agua propuesto por Brown y clasificado con base a color y valores de referencia.

Tabla 1. Clasificación del ICA propuesta de Brown

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente		90-100
Buena		70-90
Regular		50-70
Mala		25-50
Pésima		0-25

Fuente: tomado del Servicio Nacional de Estudios Territoriales ([SNET], s. f.).

Las aguas con “ICA” de categoría “excelente y buena” son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella, tal como la natación (SNET, s. f.)

Las aguas con “ICA” de categoría “regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente manifiestan un crecimiento anormal de algas (SNET, s. f.).

Las aguas con “ICA” de categoría “mala” pueden soportar una baja diversidad de vida acuática y probablemente experimenten problemas de contaminación (SNET, s. f.).

Las aguas con “ICA” de categoría “pésima” pueden soportar un número limitado de organismos acuáticos, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que impliquen el contacto directo con ella, tal como la natación (SNET, s. f.).

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los nueve parámetros implicados en el cálculo del índice los cuales son coliformes fecales, pH, demanda biológica de oxígeno -DBO5-, nitratos, fosfatos, cambio de la temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto (SNET, s. f.).

Para la determinación del ICA intervienen los siguientes 9 parámetros: 1) el oxígeno disuelto -OD-, 2) coliformes fecales, 3) pH, 4) demanda bioquímica de oxígeno -DBO-, 5) nitratos, 6) fósforo total, 7) turbidez, 8) sólidos disueltos totales -STD- y 9) temperatura (García, s. f.).

Oxígeno disuelto -OD-: el oxígeno es un gas muy relevante en dinámica de aguas. Su solubilidad es función de varios factores: temperatura, presión, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor, salinidad y composición fisicoquímica del agua (García, s. f.).

Coliformes fecales: los gérmenes patógenos habitualmente transmitidos por el agua viven en los intestinos del hombre y de los animales de sangre caliente (agentes de la fiebre tifoidea, del cólera, etc.). La manifestación de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma. Los coliformes fecales influyen directamente en la contaminación del agua debido a los vertidos de aguas urbanas al río, aunados a las aguas residuales de los distintos tipos de ganadería y agroindustrias (García, s. f.).

pH: el pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos (García, s. f.).

Demanda bioquímica de oxígeno -DBO-: la DBO indica la cantidad de oxígeno necesaria para destruir, estabilizar o degradar la materia orgánica presente en una muestra de agua por la acción bacteriológica. La tendencia general es que la calidad del agua es mejor cuando la DBO es menor (García, s. f.).

Nitratos: el uso de fertilizantes naturales y artificiales en las zonas agrícolas y los efluentes de granjas animales provocan la aparición de nitratos en las aguas superficiales. La eutrofización se define como un incremento indeseable en la producción de biomasa acuática, causada por altas cantidades de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo que entran en los cuerpos de agua. Niveles de nitrito superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar stress en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos (García, s. f.).

Fósforo total: el fósforo de una fuente de agua puede proceder de: a) Disolución de rocas y minerales que lo contienen. b) Lavado de suelos en los que se encuentra como resto de actividades ganaderas agrícolas. c) Aguas residuales domésticas vertidas a las aguas naturales. Dentro de esta última fuente de contaminación, podemos incluir los detergentes utilizados en limpieza doméstica. Estos explican el 50% del fósforo presente en aguas contaminadas por vertidos urbanos (García, s. f.).

Turbidez: la presencia de diversas materias en suspensión, arena, limo, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos provoca turbidez del agua (García, s. f.).

Sólidos disueltos totales -SDC-: la tendencia general es que la menor concentración de sólidos disueltos totales corresponde a aguas de mejor calidad (García, s. f.).

Temperatura: afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos. La temperatura influye en: la cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua, la velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas, la velocidad metabólica de los organismos, la sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades, épocas de reproducción, migración (García, s. f.). A cada uno de los parámetros se le asigna un “peso relativo” y un subíndice, tal y como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2. Peso relativo de los parámetros

i	Sub_i	W_i
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO5	0.1
4	Nitratos	0.1
5	Fosfatos	0.1
6	Temperatura	0.1
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Fuente: tomado de García (s. f.).

En la tabla 3 se detallan los criterios generales del índice de calidad de agua con base al agua potable y de riesgo agrícola.

Tabla 3. Criterios generales de Índice de Calidad de Agua –ACA-

Criterios generales						
Rango ICA	Edo	Uso: agua potable			Edo	Uso: Riego agrícola
90	Blue	No requiere purificación para consumo			Blue	No requiere purificación para riego
80	Light Blue	Requiere purificación menor			Light Blue	Tratamiento menor para cultivos que requieren alta calidad de agua para riego
70	Green	Dudoso para consumo			Green	Utilizable en la mayoría de los cultivos
50	Light Green	Tratamiento de potabilización indispensable			Light Green	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
40	Yellow	Dudoso para consumo			Yellow	Solo para cultivos muy resistentes (forrajes)
30	Red	Inaceptable para consumo			Red	Inaceptable para riego
20	Dark Red				Dark Red	

Escala de calidad del agua						
Excelente	Aceptable	Levemente contaminada	Contaminada	Fuente de contaminación	Excesiva	

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

3.23.1 Aplicación del índice

Coliformes fecales: si son mayores de 100,000 bact/100ml el sub1 es igual a 3; si el valor es menor a 100,00 bact/100ml, se busca el valor en (x) de la figura 2 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el Sub1 de Coliformes Fecales, luego se procede a elevarlo al peso w1, como se muestra en la siguiente figura.

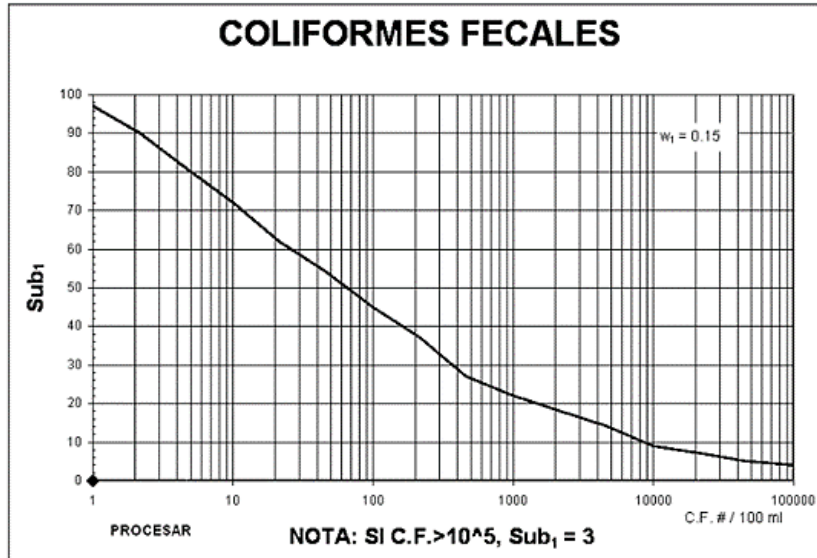


Figura 3. Coliformes fecales

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

pH: si es igual o menor a 2 el valor es mayor o igual a 10 el Sub₂ es igual a 3. Si el valor del pH está entre 2 y 10 se busca el valor en (X) en figura 3 y se interpola en valor en el eje (Y), el valor encontrado en el Sub₂ de pH y se procede a elevarlo al peso w₂.

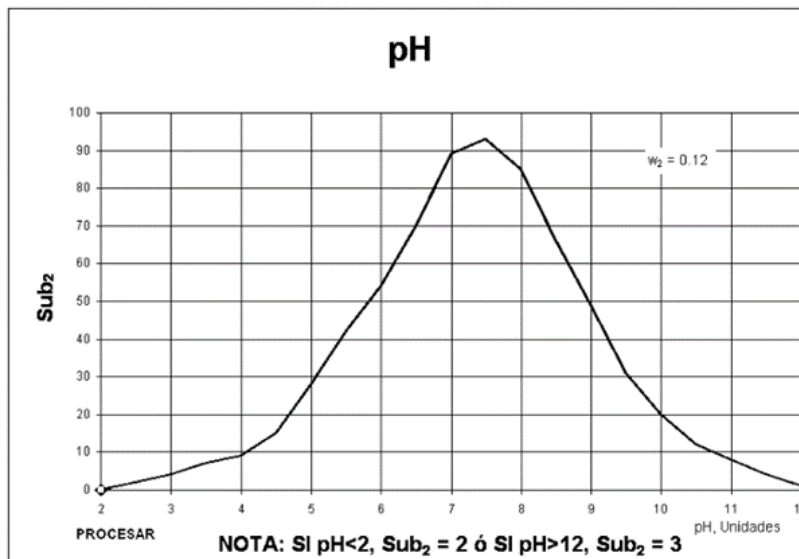


Figura 4. pH

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Demanda biológica de oxígeno (DBO): si es mayor de 30 mg/l el Sub3 es igual a 2, si la DBO es menor de 30 mg/l se busca el valor en el eje de (X) en la figura 4, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub3) de DBO y se procede a elevarlo al peso w3.

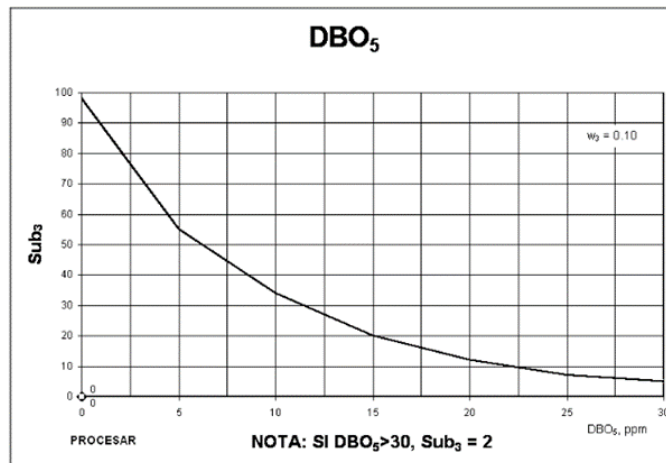


Figura 5. Demanda biológica de oxígeno

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Nitratos: si es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en la figura 5, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w4.

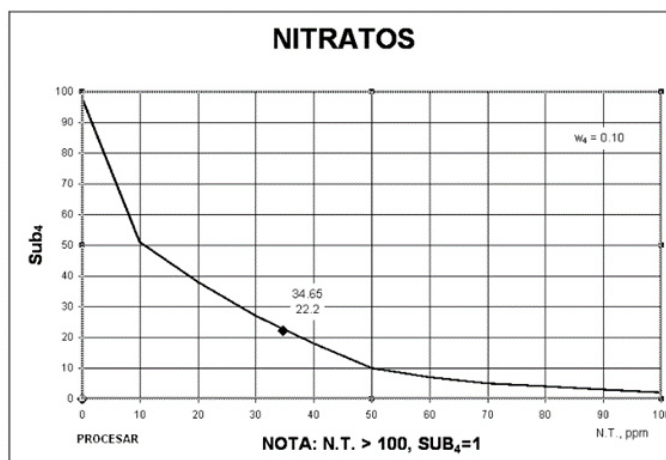


Figura 6. Nitratos

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Fosfatos: si es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en la figura 6, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub5) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w5.

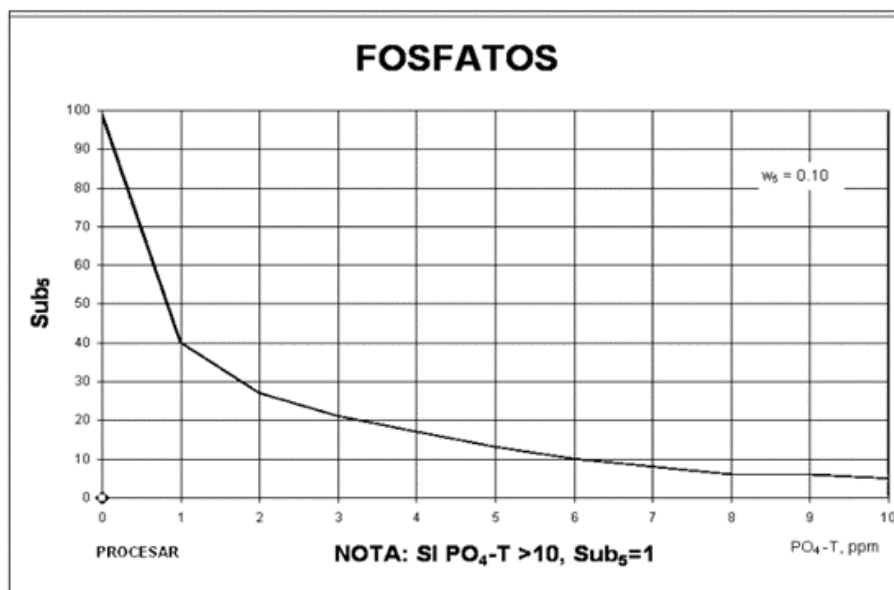


Figura 7. Fosfatos

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Temperatura: para este parámetro se calcula primero la diferencia entre la T°ambiente y la T°muestra y con el valor obtenido se procede. Si el valor de la diferencia es mayor de 15° C el (Sub6) es igual a 9, si es menor de 15°C se busca el valor en el eje (X) y en la figura 7 se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub6) de temperatura y se procede a elevarlo al peso w6.

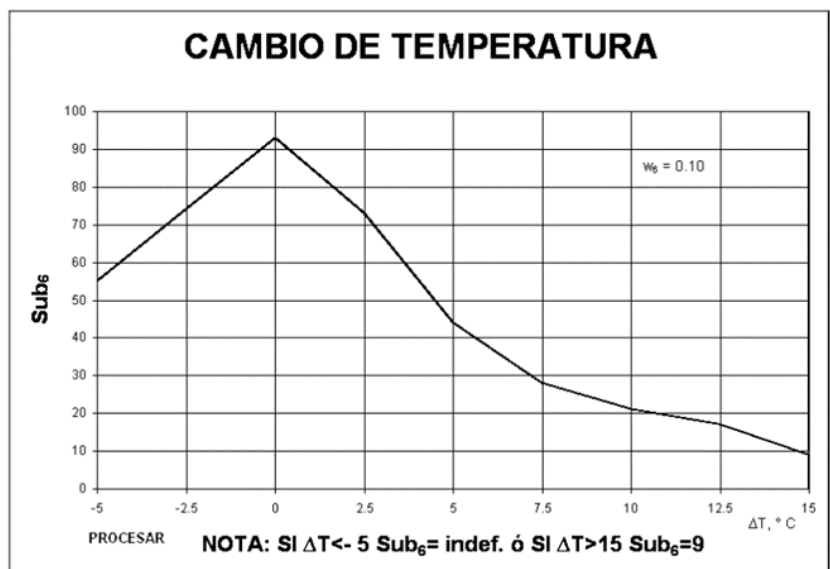


Figura 8. Temperatura

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Turbidez: si es mayor de 100 NTU el (Sub7) es igual a 5, si la turbidez es menor de 100 NTU, se busca el valor en el eje (X) y se interpola en el eje (Y) de la figura 8, el valor encontrado es el (Sub7) de turbidez y se procede a llevarlo al peso w_7 .

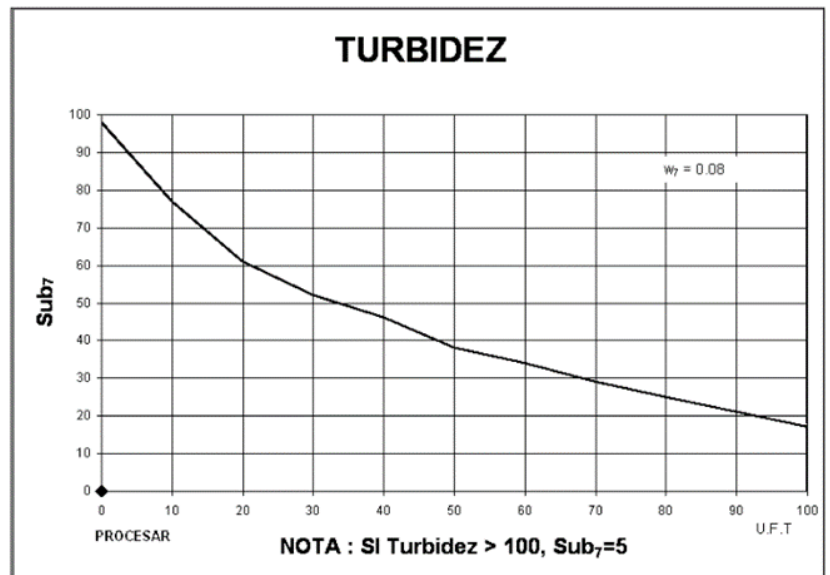


Figura 9. Turbidez

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Sólidos disueltos totales: si son mayores de 500 mg/l el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se busca el valor en el eje de (X) en la figura 9, se interpola en el eje de la (Y), el valor encontrado es el (Sub8) de Sólidos disueltos Totales y se procede a elevarlo al peso w8.

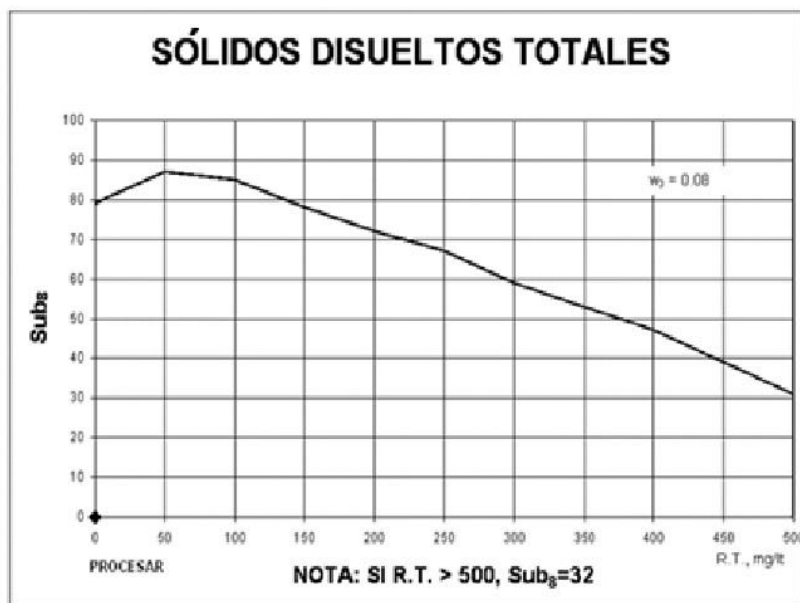


Figura 10. Sólidos disueltos totales

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Oxígeno disuelto: hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua, identificando el valor de saturación de OD según la temperatura del agua como se demuestra en la tabla 4.

Tabla 4. Solubilidad de oxígeno en agua dulce

Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

Si el porcentaje (%) de saturación de OD es mayor a 140% el (Sub9) es igual a 47, si el valor es menor de 140% la saturación de OD se busca el valor en el eje (X) en la figura 11, se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub9) de Oxígeno Disuelto y se procede elevarlo el peso w_9 . Los valores obtenidos se incorporaron en la tabla 5, para calcular el valor del Índice de Calidad de Agua por cada punto de muestro.

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub 9) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X). En la figura se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub9) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso w_9 .

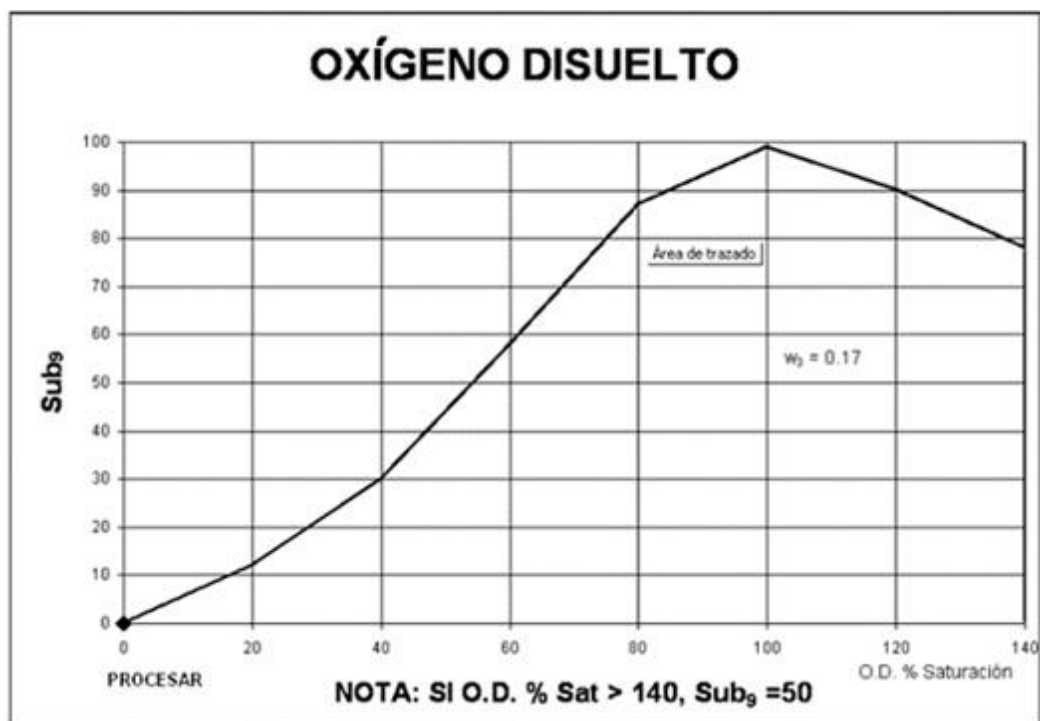


Figura 11. Oxígeno disuelto

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

La siguiente es una tabla que sirve como base para el análisis de los resultados y que consisten en la notación de los parámetros con base a las unidades y w_i .

Tabla 5. Parámetros base para el procesamiento de resultados

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales		NMP/100 mL		0.15	
2	pH		unidades de PH		0.12	
3	DBO5		mg/ L		0.1	
4	Nitratos		mg/ L		0.1	
5	Fosfatos		mg/ L		0.1	
6	Cambio de la Temperatura		°C		0.1	
7	Turbidez		FAU		0.08	
8	Sólidos disueltos Totales		mg/ L		0.08	
9	Oxígeno Disuelto		% saturación		0.17	
Valor del “ICA”					Σ	

Fuente: tomado de SNET (s. f.).

3.24 Contaminación del agua

La contaminación del recurso hídrico es la incorporación de elementos extraños como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas servidas, agropecuario o bien industrial; estas materias deterioran la calidad del agua, la hacen inútil para los usos pretendidos y causa efectos dañinos a la flora, fauna y a la salud humana (Casasola Garza, 2014).

Otro ejemplo de contaminación ocurre cuando el agua al caer con la lluvia por enfriamiento de las nubes arrastra impurezas del aire, al circular por la superficie o a nivel de capas profundas, se le añaden otros contaminantes químicos, físicos o biológicos, siendo esta contaminación de origen natural, lo cual se agrava al existir otra muy notable de procedencia humana, por actividades agrícolas, ganaderas o industriales, que hace sobrepasar la capacidad de autodepuración de la naturaleza (Casasola Garza, 2014).

Con frecuencia el sabor, el olor y aspecto del agua indican que está contaminada, o alterada en sus propiedades, pero la presencia de contaminantes peligrosos solo se puede detectar mediante pruebas químicas y biológicas en laboratorios (Casasola Garza, 2014).

3.25 Desechos sólidos

Es frecuente la confusión entre residuos sólidos y desechos sólidos, por lo que cuando se refiere a desechos sólidos se trata del material o conjunto de materiales resultantes de cualquier proceso u operación que esté destinado al desuso, que no vaya a ser utilizado, recuperado o reciclado. Básicamente la diferencia entre ambos conceptos radica en que todo material o resto que pueda ser nuevamente utilizado a través de un adecuado proceso de reciclaje se denomina residuo, este se transforma en materia prima generando un beneficio económico y una protección al ambiente, mejorando la calidad de vida (López López, 2017).

3.26 Principales contaminantes del agua

Existe un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una forma es el como se muestra a continuación:

3.26.1 Agentes patógenos

Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, entre otros. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un índice para medir la salubridad de las aguas es el número de bacterias coliformes presentes. La Organización Mundial de la Salud recomienda que el agua para consumo humano tenga 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua (Zarza, c2023).

3.26.2 Desechos orgánicos

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos y animales, incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias que demandan oxígeno para biodegradarse (aeróbicas). Cuando este tipo de desechos se encuentran en

exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y no permite la vida de peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Los índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son el oxígeno disuelto, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) (Zarza, c2023).

3.26.3 Sustancias químicas inorgánicas

En este grupo se incluyen los ácidos, sales y metales tóxicos (mercurio, plomo), los cuales afectan la calidad del agua. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos y afectar el rendimiento agrícola (Zarza, c2023).

3.26.4 Sustancias químicas orgánicas

En este grupo se incluyen cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (Zarza, c2023).

3.26.5 Sedimentos materiales suspendidos

Para este conjunto se enlistan el petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes que permanecen largos períodos de tiempo, lo cual constituya una amenaza para la vida acuática (Zarza, c2023).

3.26.6 Nutrientes vegetales inorgánicos

Los nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos, El resultado es agua maloliente e inutilizable (Zarza, c2023).

3.26.7 Calor

El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses disminuyendo la capacidad de contener oxígeno y afecta la vida de organismos (Zarza, c2023).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Departamento de Chiquimula

El departamento de Chiquimula se encuentra a 168 km de la ciudad de Guatemala, cuenta con 11 municipios, su cabecera departamental es el municipio de Chiquimula, posee un área aproximada de 2,376 km² y una altitud de 424 m sobre el nivel del mar. Posee un territorio montañoso con un clima principalmente templado cálido, colinda al norte con el departamento Zacapa, al este con la República de Honduras, al sur con la República de El Salvador y el departamento de Jutiapa y al oeste con Jalapa (Ministerio de Economía [MINECO], 2017).

Chiquimula es conocido como uno de los departamentos más calientes de Guatemala, sin embargo, hay variedad de climas, predominando el cálido-árido. Cerca del volcán de Ipala hace un clima templado y a veces frío. Tiene precipitaciones de 17% milímetros de lluvia, tiene una humedad de 66% y vientos de 23 Km/h (MINECO, 2017).

Dada la especial dinámica económica de la ciudad, debido a su favorable ubicación, se ha convertido en un centro regional de comercio y prestación de servicios profesionales, lo que la hace muy atractiva para los habitantes del departamento de Zacapa y algunos alrededores como Jutiapa y Jalapa.

El departamento de Chiquimula está ubicado en el área geográfica conocida como Región Chortí, la cual es una etnia indígena descendiente de la civilización maya, cuyo centro cultural y político se situaba en Copán (actual Honduras). Esta etnia aún persiste en este departamento y se encuentra concentrada en los municipios de Chiquimula, Jocotán, Camotán y, en menor parte, de Quezaltepeque. Además, en el Departamento, aún se habla el idioma Maya Ch'orti'.

Según el censo poblacional llevado a cabo en el 2018, para el departamento de Chiquimula se estimó una población de 415,063 habitantes, la mayoría jóvenes de entre 15 y 64 años (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2018).

En la figura 13 se presenta la ubicación del departamento de Chiquimula en el contexto nacional.

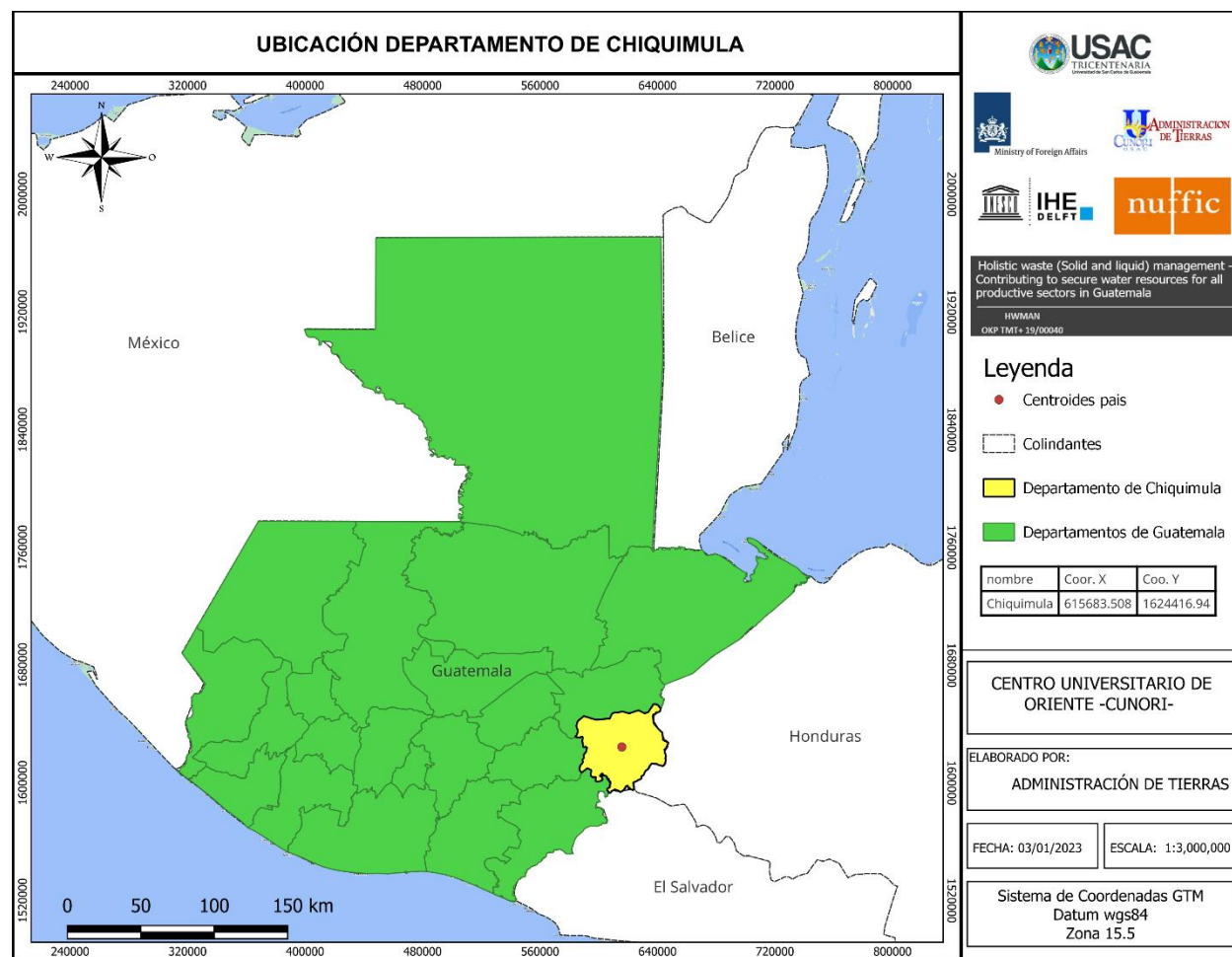


Figura 12. Mapa de ubicación del departamento de Chiquimula

4.2 Municipios de Chiquimula

Chiquimula, también conocida como La Perla de Oriente, es uno de los municipios del oriente de Guatemala. Su historia y origen son parte de la cultura guatemalteca en general.

Chiquimula se deriva del Nahuatl Chiquín —que significa Pájaros— y Molín —que significa Lugar— o Lugar de pájaros.

El nombre del poblado varió mucho a través del tiempo, pero se mantuvo el de “Chiquimula de la Sierra” también se le conoció como “La Santísima Trinidad Chiquimula de la Sierra”, aunque antes de 1765 se le conoció como “San Nicolás de Chiquimula” y en cierta época se le llamó “Santa María de la Asunción Trinidad de Chiquimula de la Sierra” (Ramírez Pazos, 2012)

Como se muestra en la figura 13, Chiquimula colinda al Norte con el departamento de Zacapa, al Este con Jocotán, San Juan Ermita y San Jacinto, al Sur con San José la Arada y San Jacinto, al Oeste con los municipios de Huité y Cabañas del departamento de Zacapa. Con una extensión de 372 km² y su ubicación geográfica Latitud Norte 14° 47' 37", Longitud Oeste 89° 33' 20" (MINECO, 2017).

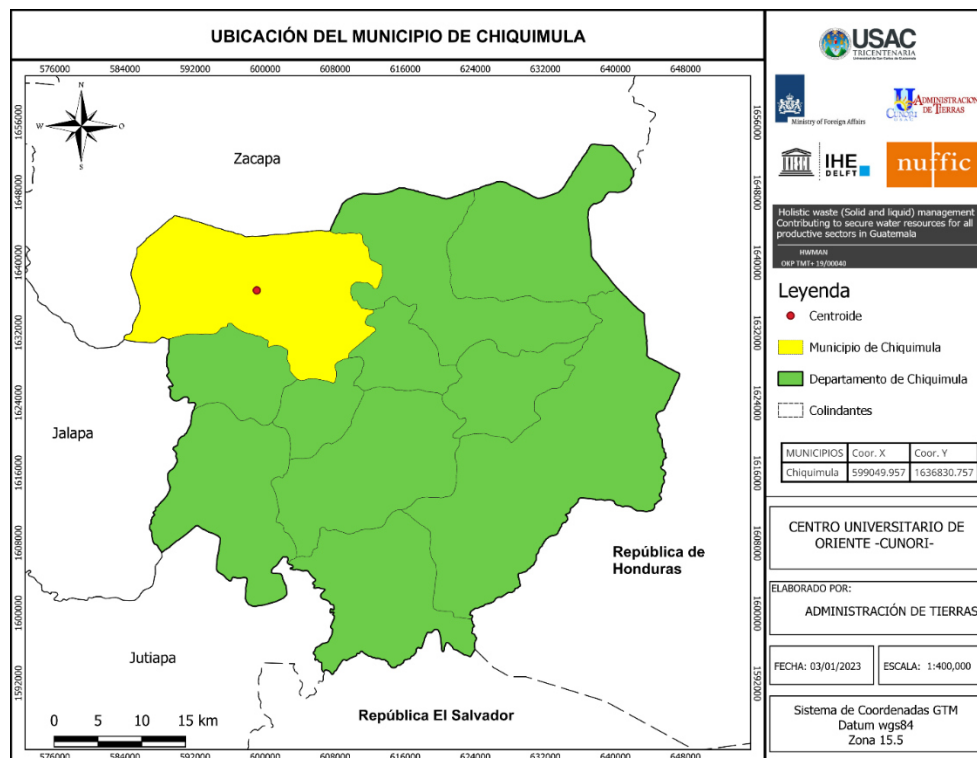


Figura 13. Ubicación municipio de Chiquimula

4.2.1 Economía

La economía de Chiquimula está basada en la producción agrícola, siendo sus productos más importantes: el maíz, frijol, arroz, maní, maicillo, papas, café, caña de azúcar, cacao, bananos y frutas de clima cálido y el tabaco que se ha constituido en una explotación especial. Posee grandes fincas con crianza de ganado vacuno, que lo hacen sobresalir ante otros departamentos de Guatemala. Además, el subsector ganadería tiene una participación bastante importante. En lo que respecta a la producción artesanal, esta es muy variada, sobresaliendo los productos de cerámicas, jarcia, cuero y palma, entre otros. Según el Censo Nacional de Guatemala del 2018, el 50.6% de sus habitantes son catalogados como económicamente activos. La mayoría de sus habitantes se dedican al comercio, la agricultura y los servicios públicos (INE, 2018).

Chiquimula es una de las ciudades con mayor comercio del oriente guatemalteco ya que se encuentra ubicada a la orilla de la carretera hacia la frontera con Honduras y El Salvador. Entre los centros de comercio más importantes se encuentran el Mercado Central, Mercado la Terminal y el Centro Comercial Pradera. La ciudad posee una gran variedad de bancos y cooperativas, y varios negocios regionales (MINECO, 2017).

4.2.2 Desarrollo social

A pesar de su gran crecimiento comercial, Chiquimula aún cuenta con una importante parte de su población viviendo bajo la pobreza. Se estima, según importantes estudios, que el 32,61% de sus habitantes viven en la pobreza, y el 5% en la pobreza extrema. Según el censo de 2018, el 80% de hombres y el 77% de mujeres está alfabetizada. Aunque no se cuentan con datos oficiales, se supone que la población alfabetizada en la ciudad es mucho más alta que en las aldeas (INE, 2018).

Cuenta con el Hospital Nacional de Chiquimula y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social que brindan servicio a todo el departamento. Además, existen algunos pequeños hospitales privados y sanatorios locales. A continuación, se enlistan los servicios hospitalarios y sanatorios privados:

- Hospital Millenium
- Hospital Centro Clínico de Especialidades
- Memorial Hospital Chiquimula
- Centro Médico de Chiquimula
- Hospital Siglo 21
- Hospital Integral
- Sanatorio Punto Médico, Chiquimula
- Sanatorio Hermano Pedro
- Sanatorio Nazareno
- Clínica De Traumatología Dr. Rubén Barrientos

La ciudad cuenta con su propio estadio de fútbol, denominado Estadio Las Victorias siendo también la sede del equipo Club Social y Deportivo Sacachispas y Sacachispas Femenino. El estadio no solo es utilizado para partidos de fútbol, sino que también para eventos musicales, religiosos y educativos. También, posee unas instalaciones deportivas de la Confederación Deportiva Autónoma de Guatemala -CDAG- para la práctica de deportes como baloncesto, balonmano, esgrima o patinaje. Asimismo, cerca del Estadio Las Victorias, se ubica la piscina olímpica.

4.3 Movilidad del municipio urbano y rural

A nivel interno, la movilidad de las personas es mediante microbuses, taxis y vehículos pick up de doble tracción, los cuales son utilizados en el acceso a centros poblados donde la

topografía es muy inclinada, como en el sector Oeste del municipio (Consejo Municipal de Desarrollo Chiquimula, 2018).

4.4 Granos básicos

En el departamento de Chiquimula la producción de granos básicos, como frijol, representa el 10% del total de la producción nacional, mientras que el arroz representa el 8%, el maíz se cosecha solo para el comercio interno y consumo familiar en pequeñas unidades agrícolas: una parte se utiliza para intercambio con otros departamentos del país y para el mercado local (MINECO, 2017).

4.5 Cabecera departamental de Chiquimula

El 29 de junio de 1892 fue mencionada Chiquimula con el título de ciudad, cuenta con una extensión territorial de 7 km², aproximadamente; se encuentra conformada por 7 zonas, las primeras 6 fueron establecidas con respaldo legal alrededor del año de 1,983; mientras que la zona 7 fue la última en establecerse en el año 2008.

Como se ilustra en la figura 14, la distribución de las zonas se encuentra de la siguiente manera: zona 1, se ubica en el centro de la ciudad, al Norte las zonas 2 y 7, al Este la zona 5, al Sur las zonas 4 y 6, y al Oeste la zona 3 (MINECO, 2017).

4.5.1 Zonas del casco urbano de Chiquimula

El casco urbano de Chiquimula está dividido en 7 zonas, y cada una cuenta con sus barrios, colonias, sectores, etc., que están distribuidas de la siguiente manera:

- **Zona 1**

Barrio El Teatro, Sector Centro, Barrio Candelaria, Sector La Terminal, Barrio La Torre, Barrio La Democracia, Sector Cementerio, Barrio El Calvario.

- **Zona 2**

Colonia El Milagro, Colonia Minerva, Residenciales Buena Ventura, Colonia Lone, Sector Callejón, Colonia Linda Vista, Colonia Linda Vista II, Colonia Ruano, Sector Templo a Minerva, Colonia Las Lomas.

- **Zona 3**

Colonia Banvi, Colonia Buezo, Residenciales Chiquimula, Barrio El Ángel, Colonia San Francisco, Residenciales Canaán.

- **Zona 4**

Colonia Jardines de Concepción, Colonia El Maestro, Colonia El Caminero, Colonia El Manguito, Barrio El Centro, Colonia Las Flores, Colonia Lemus, Colonia Las Brisas, Barrio El Molino, Barrio San Pedrito.

- **Zona 5**

Barrio Zapotillo, Colonia 4 de febrero, Sector Bella Vista, Barrio La Estación, Residenciales G&T, Colonia Los Cerezos, Colonia Las Rosas, Universidad CUNORI.

- **Zona 6**

Los Duarte.

- **Zona 7**

Shusho, El Mirador, Shoropin, La Colina y San Isidro

El área rural cuenta con numerosas aldeas y caserío, según la municipalidad de Chiquimula, el municipio cuenta con lo siguiente (Ramírez Pazos, 2012).

En la figura 14 se muestra la distribución de las siete zonas que pertenecen al casco urbano de Chiquimula.

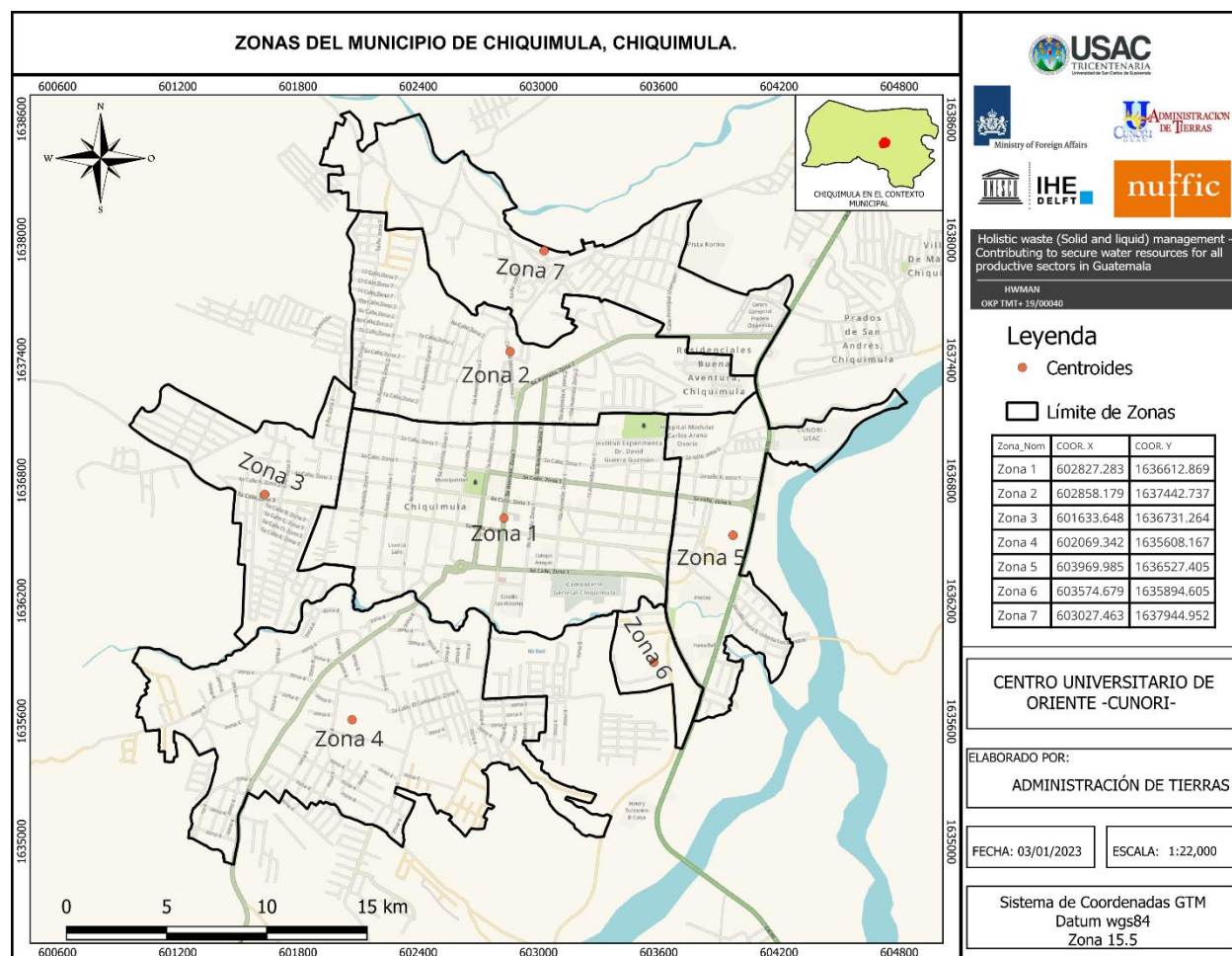


Figura 14. Mapa de las zonas del casco urbano de Chiquimula

4.5.2 Aldeas

Las aldeas del municipio son: El Barrial, El Carrizal, Conacaste, Durazno, El Guayabo, El Ingeniero, El Matasano, El Morral, El Obraje, El Palmar, El Pinalito, El Santo, El Sauce, El Sillón, Guior, La Catocha, La Laguna, La Puente, La Puerta, Las Tablas, Maraxcó, Petapilla, Plan del Guineo, Rincón de Santa Bárbara, Sabana Grande, San Antonio, San Esteban, San Miguel, Santa Bárbara, Santa Elena, Shusho Abajo, Shusho Arriba, Tacó Arriba, Tablón del Ocotál, Tierra Blanca, Vado Hondo, Vega Arriba y Shororaguá.

4.5.3 Caseríos

Los caseríos del municipio de Chiquimula son: Aguacate, El Colocho, Limar, Limón, Pinalón, Quebrada Arriba, Morral, Nanzal, Plan del Jocote, Los Vidal, El Varal, Loma Larga, Sillón Abajo, Las Mesas, El Pato, El Poxte, Bella Vista, Canaán, El Jute, Limonal, Cimarrón, Plan del Carmelo, Plan del Jocote, Paso del Credo, Paijá, Laguneta, Tapazán, El Chilar, El Llano, El Otro Lado, Herepán, Shusho en Medio, Cuesta de San Antonio, Quebrada Los Cangrejos, Sabanetas, Vuelta del Guayacán, Ticanlú, Guayabillas, Los Ramos, Tamiz, Terreno Barroso, Las Cruces, Yerbabuena, Zarzal, Clarinero, Jicaral, La Falda, El Pinal, La Angostura, San Jorge y Magueyal.

4.5.4 Caracterización socioeconómica

Según el Censo Nacional de Guatemala realizado por el Instituto Nacional de Estadística (2018), el 50% de sus habitantes son catalogados como económicamente activos. La mayoría de sus habitantes se dedican al comercio, la agricultura y los servicios públicos. Chiquimula es una de las ciudades con mayor comercio del oriente guatemalteco ya que se encuentra ubicada a la orilla de la carretera hacia la frontera con Honduras y El Salvador. Entre los centros de comercio más importantes se encuentran el Mercado Central, Mercado la Terminal y el Centro Comercial Pradera. La ciudad posee una gran variedad de bancos y cooperativas, y varios negocios regionales.

Al Norte de la ciudad, y ya en las periferias hay una pista de aterrizaje para avionetas privadas, sin embargo, las autoridades gubernamentales del municipio han planeado reconstruirla y elevarla a la categoría de aeropuerto para así mejorar la economía chiquimulteca. Además, tiene una terminal de autobuses de la cual se puede transportar pasajeros a toda la ciudad, el departamento y a Zacapa, Puerto Barrios y la Ciudad de Guatemala.

La economía de la población se basa en agricultura, ganadería, el comercio y la prestación de servicios técnicos y profesionales.

Educación: La población hace uso de los establecimiento públicos y privados que se adecuen a sus necesidades.

Salud: para los servicios de salud, existe el Hospital Modular de Chiquimula “Carlos Manuel Arana Osorio”, que se encuentra ubicado en 2da. Calle 14-71 Zona1.

Organización comunitaria: La municipalidad cuenta con un concejo que toma las decisiones en el municipio, así como diferentes COCODES para cubrir todas las zonas del casco urbano.

Servicios: la ciudad cuenta con diferentes servicios que están a disposición de toda la población chiquimulteca. Cuenta con servicios de energía eléctrica, agua, alumbrado público, recolección de basura, centros educativos. También incluyendo los servicios profesionales como los Abogados y Notarios, Ingenieros Civiles y Agrónomos, Contadores, Arquitectos, entre otros.

4.6 Servicios básicos e infraestructura

Sirven para que el municipio realice las actividades de recolección de basura, limpieza, distribuya el agua potable o entubada, distribución de la energía eléctrica, los servicios de comunicación, mercados etc.

4.6.1 Alcantarillado

Chiquimula cuenta con una red de drenaje que abastece la mayor parte del casco urbano, contando con algunas carencias que se han intensificado por la urbanización descontrolada, la falta de mantenimiento de las tuberías por parte de la municipalidad y el mal uso que le da la población, estos factores y el hecho de que algunos conductos siguen siendo de concreto, son los causantes de los problemas del alcantarillado.

4.6.2 Energía eléctrica

En el departamento de Chiquimula, de acuerdo con los registros de la empresa eléctrica, existe una cobertura de 82,160 viviendas, con 72,919 usuarios lo que da margen a un índice de 88.75 de cobertura en el mismo (MINECO, 2017).

4.6.3 Agua potable

En 2016, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED-, en conjunto con la municipalidad de Chiquimula, realizaron un estudio sobre el agua en los 11 municipios de Chiquimula, para demostrar el estado en que se encontraba el servicio. Para ejecutar el proyecto se levantó una muestra de 9 municipios con bajas coberturas de agua potable, y estos son: La cabecera municipal de Chiquimula, San José La Arada, Ipala, San Jacinto, Jocotán, Quezaltepeque, Esquipulas y Concepción las Minas. En estos municipios se evaluaría el estado de los servicios de agua, saneamiento e higiene. La CONRED eligió estos 9 municipios bajo el criterio de trabajar tres en cuenca alta, tres en cuenca media y tres en cuenca baja. Los municipios seleccionados se muestran en la figura 15.

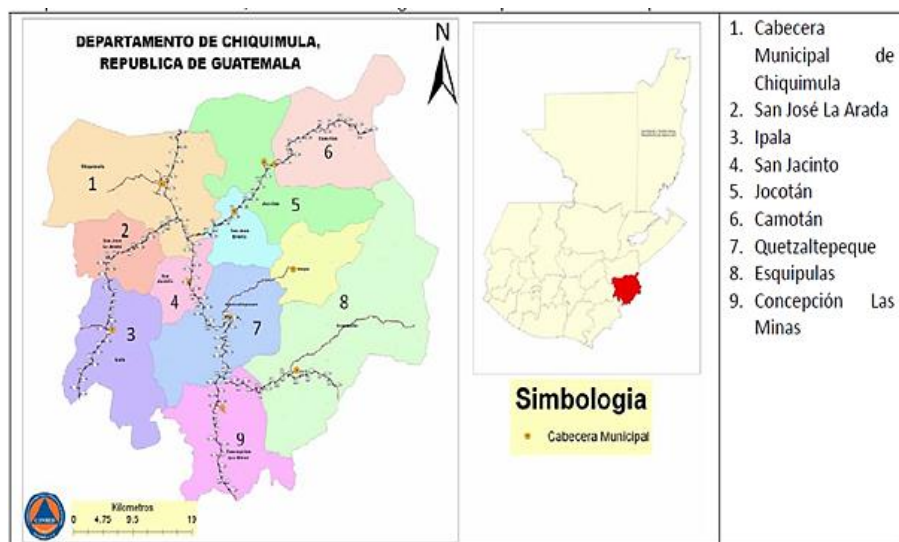


Figura 15. Mapa de los departamentos seleccionado para la muestra de CONRED

Fuente: Mapa elaborado la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres [CONRED] (2016)

El estado de las redes de distribución, en el caso del funcionamiento de los sistemas se encontró que 22% de la muestra tiene problemas de funcionamiento en sus redes de distribución, por la antigüedad de los materiales con los que fueron originalmente contruidos. Con más de 40 años de uso, en algunos casos, con tuberías de asbesto cemento, hierro fundido y hierro galvanizado con altos grados de deterioro y oxidación. Por supuesto fuera de periodo de diseño y vida útil. En caso de la desinfección, se determinó que en los nueve municipios están realizando la desinfección del agua que proveen a los usuarios, con cloradores de gas e hipocloritos de sodio y de calcio. De acuerdo con los informes de los muestreos realizados por los inspectores de saneamiento ambiental del Ministerio de Salud. En la cabecera del municipio de Chiquimula, se hace de manera manual, la cual se complica en época de invierno por las altas turbiedades que alcanzan las captaciones en el río Tacó, que es la fuente que provee en un 70% el vital líquido al casco urbano del municipio (CONRED, 2016).

4.6.4 Agua potable y saneamiento

La cabecera departamental cuenta con una planta de tratamiento para agua potable, con algunas deficiencias en el proceso de tratamiento. Se le hicieron trabajo para la rehabilitación de los cuatro filtros por un costo de Q201,975.00 a la fecha aún no están funcionando. En 2016 se mezclaron las aguas de nacimiento natural con aguas superficial del río Tacó (CONRED, 2016).

En 2019 los sectores que se vieron afectados debido a una fuerte escasez de agua fueron el barrio El Molino, La Democracia, 16.^a avenida final, Residenciales Chiquimula, colonia Lone y barrio San Isidro. Los reportes noticiosos señalan que vecinos de varios sectores de la cabecera de Chiquimula expresan su malestar por la irregularidad el servicio de agua entubada (Guatevisión, 2019).

El servicio de drenajes es una atribución donde tiene competencias el gobierno local, quienes son los encargados de prestar, administrar y facilitar el servicio a la población. Debido al

patrón de asentamiento especialmente en el área rural, la prestación de este servicio no puede ser posible en todos los poblados, sino únicamente en aquellos con características urbanas. La cabecera municipal cuenta con al menos 4 desfuegos de aguas servidas, en los cuales no se cuenta con una planta de tratamiento que reduzca el impacto negativo a la biodiversidad del cuerpo de agua donde se dispone finalmente el caudal (Consejo Municipal de Desarrollo Chiquimula, 2018).

4.6.5 Residuos, desechos sólidos y extracción

El modelo actual de desarrollo del municipio de Chiquimula genera fuertes cantidades de desechos sólidos, especialmente en el área urbana; volúmenes que actualmente se desconoce su magnitud y clasificación de estos, los cuales son recolectados por una empresa privada concesionada y por empleados municipales, los cuales son depositados finalmente en el vertedero municipal, ubicado en el sector conocido como Altamira.

La Municipalidad de Chiquimula, únicamente se encarga de recolectar la basura de los 2 mercados municipales, calles y avenidas, parques y cementerio. La recolección domiciliar está concesionada a una empresa privada, que es la encargada de recolectar una vez por semana los desechos domiciliarios, el costo de recolección es de Q.35.00 por mes. La recolección privada recolecta solo el 40% de los desechos sólidos domiciliarios, equivalente a 8.54 toneladas diarias (MINECO, 2017).

4.7 Zona 3 de la ciudad de Chiquimula

Esta se ubica al Oeste del casco urbano, es la segunda zona de menor extensión, ya que posee aproximadamente 63.44 hectáreas. La zona 3 cuenta con una particularidad debido a que está compuesta en su mayoría por colonias que manejan su propia nomenclatura, como en el

caso de la colonia Los Ángeles. La zona 3 colinda al Norte y al Oeste con áreas rurales, al Este con la zona 1 y al Sur con la zona 4.

En la actualidad, la zona 3 está conformada por las siguientes colonias y residenciales:

- Colonia BANVI
- Colonia Buezo
- Residenciales Chiquimula
- Barrio El Ángel
- Colonia San Francisco
- Residenciales Canaán.

4.7.1 Carencias

Como en la mayoría de los sectores de la ciudad de Chiquimula, las calles de la colonia el BANVI se encuentran en malas condiciones, lo que limita a un tránsito fluido y provoca accidentes vehiculares.

Las últimas lluvias del año 2022 han dejado adoquines sueltos y los vecinos han hecho denuncias a los medios de comunicación locales sobre esta situación, ya que ponen en riesgo su integridad física al transitar por las calles.

El tiempo de servicio del agua ha cambiado desde el 2020; en años anteriores se recibía cada dos días por un promedio de dos a tres horas. En 2022 se recibió el agua en los hogares cada 4 días, por un promedio de 2 horas y, en ocasiones, es interrumpida o no llega los días establecidos.

4.8 Zona 4 de la ciudad de Chiquimula

Para este diagnóstico se presenta a la zona 4 de la ciudad de Chiquimula, como objeto de investigación. Esta se ubica al Sur del casco urbano, es la zona de mayor extensión, ya que posee aproximadamente 168 hectáreas.

Actualmente, en este sector y sus alrededores se están desarrollando proyectos y ha sido el foco de inversiones residenciales.

La zona 4, cuenta con una particularidad en su nomenclatura: posee la 0 avenida, popularmente conocida como avenida central, la cual es una entrada vehicular a la ciudad procedente del municipio de San José La Arada.

Este sector posee uno de los barrios más famosos y antiguos del municipio, el populoso “barrio El Molino” que se encuentra al centro de la zona y es atravesado por la 0 Avenida que conecta con el histórico Puente de El Molino. Además, dispone de otro monumento que es la Virgen de Fátima, ubicada en la periferia de la zona al lado Oeste.

La zona 4 colinda al Norte con las zonas 1 y 3, al Este con la zona 6 y al Sur y oeste con áreas rurales.

En la actualidad la zona 4 está conformada por las siguientes colonias y barrios:

- Colonia Jardines de Concepción
- Colonia El Maestro
- Colonia El Caminero
- Colonia El Manguito
- Barrio El Centro
- Colonia Las Flores
- Colonia Lemus

- Colonia Las Brisas
- Barrio El Molino
- Barrio San Pedrito

4.8.1 Carencias

La zona 4 cuenta con un sistema de agua potable poco eficiente, compuesto por algunos tanques potabilizadores de agua, pero que no se encuentran en buenas condiciones y, aunque la ciudad cuenta con fuentes de abastecimiento, el servicio no está disponible día a día para todos los habitantes dentro de la comunidad; especialmente cuando se produce algún daño en el equipamiento necesario para la extracción e impulsión del vital líquido.

La carencia de un sistema de electrificación eficiente es un problema históricamente no remediado en la ciudad de Chiquimula, puesto que no es raro que se originen los cortes en el suministro de energía eléctrica sin una razón programada y justificada.

Además, no cuenta con un sistema de drenaje de aguas servidas preparado para soportar la carga generada por la totalidad de la ciudadanía. Además, necesita un sistema de aguas pluviales que permita conducir todas las aguas de lluvia a un punto de desfogue sin que estas tengan que circular por las calles y avenidas de la ciudad; cuando se presenta una tormenta estas vías se convierten en cauces, en donde el principal afectado resulta ser el peatón que, desamparado ante la negligencia de conductores de vehículos automotores, no tiene más que tratar de esquivar el agua levantada por los primeros.

En la figura 16 se presenta el lugar de estudio, en el contexto del casco urbano, conformado por el área próxima al caudal del río Tacó en las zonas 3 y 4.

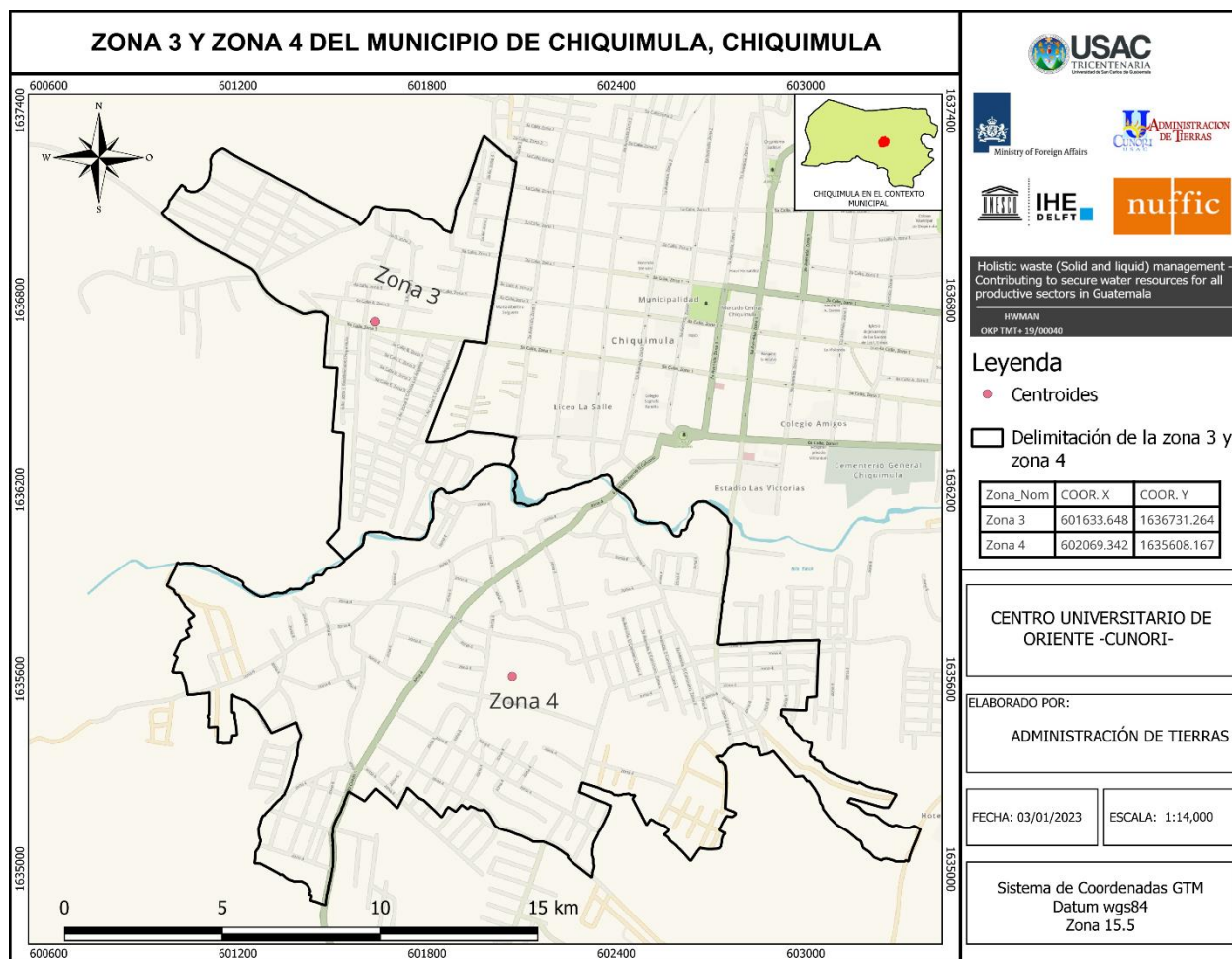


Figura 16. Mapa de las zonas 3 y 4 del municipio de Chiquimula, Chiquimula

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Objetivos

5.1.1 Objetivo general

Contribuir a la gestión municipal para el desarrollo territorial y urbanístico de la cuenca del río Tacó, en el municipio de Chiquimula, del departamento de Chiquimula.

5.1.2 Objetivos específicos

- Proporcionar información geoespacial que sirva como base para la planificación territorial y urbanística en la cuenca del río Tacó.
- Mejorar el manejo y calidad del agua a través de la información recolectada de los desechos sólidos e Índice de Calidad del Agua -ICA-.
- Sensibilizar a la población chiquimulteca sobre la importancia del manejo, uso y conservación del recurso hídrico del río Tacó.

5.2 Técnicas

Para efectuar el diagnóstico y recopilar la información, se emplearon las técnicas de observación, lluvia de ideas, entrevistas donde se aplicaron instrumentos como: cuestionarios, que permitieron conocer la situación de las personas, facilitando de esta forma identificar las carencias y necesidades que se presentan en las zonas de estudio.

5.3 Selección y definición del área de estudio

Para efectos de este trabajo, se seleccionó como el área de estudios una sección que abarca parte de las zonas 3 y 4 del casco urbano de Chiquimula y que se encuentra cercana al caudal del río Tacó.

5.4 Geoposicionamiento de puntos de control para la producción de ortofotos

5.4.1 Levantamiento de información en campo

- **Trabajo en gabinete**

Se analizó el área de estudio para establecer puntos de control utilizando referencias o señales visibles de la superficie de fotografiar con el dron, con el objetivo de obtener puntos de apoyo con coordenadas GTM que permitieron georreferenciar con alta precisión el modelo fotogramétrico. En este caso se establecieron 26 puntos de control.

- **Trabajo en campo**

Se ubicaron los 26 puntos de referencia en gabinete. Para la toma de los puntos de control se utilizó receptor GNSS con tecnología NTRIP que permitió obtener las coordenadas GTM en alta precisión en tiempo real. La tabla 6 muestra las coordenadas para los puntos de control.

Tabla 6. Coordenadas de puntos de control

No.	Norte	Este
1	1636203.32	601839.002
2	1636306.87	601890.452
3	1636288.51	601731.799
4	1635895.64	601699.918
5	1635788.51	601568.139
6	1636066.36	602249.016
7	1636045.17	602059.375
8	1635847.31	601404.623
9	1635842.62	601604.153
10	1635760.21	601485.942
11	1635855.21	601666.955
12	1635831.66	601788.299
13	1635959.37	601840.752
14	1636029.12	601970.241
15	1635948.57	602055.415
16	1636033.7	602175.485
17	1636090.3	601762.702
18	1636166.03	601553.154
19	1636149.68	601695.627
20	1636281.04	601563.167

21	1636353.7	601685.077
22	1636082.9	602015.48
23	1636155.49	601915.495
24	1636267.04	602078.613
25	1636357.45	601858.888
26	1636371.11	602078.69

- **Plan de vuelo**

Se realizó el diseño del plan de vuelo del área de estudio con una altitud de 150 metros y una resolución de 4,000 x 3,000 píxeles.

- **Toma fotográfica**

Para la toma de la fotografía aérea se utilizó el vehículo aéreo no tripulado para uso civil modelo Mavic Air 2, se agregó el plan de vuelo planificado en el área de estudio, se realizaron dos sesiones obteniendo como resultado 458 fotografías.

- **Procesado y cálculo**

Una vez tomadas las fotografías con sus parámetros, se realizó el cálculo de los parámetros de orientación de cada una de las fotografías. El procesamiento de las imágenes se llevó a cabo con el programa de procesamiento de fotografías, obteniendo como producto final:

- o Ortofotomosaico
- o Modelo digital de elevación
- o Modelo digital del terreno
- o Curvas de nivel

5.5 Catastro geoambiental y boleta

5.5.1 Encuesta sobre manejo de desechos sólidos

- **Recursos**

- Ortofoto digital e impresa
- Lapiceros
- Hojas de papel bond
- Navegador GPS
- Teléfono celular
- Equipo de cómputo
- Programa de análisis de información espacial y cálculo.

- **Trabajo previo**

Se realizó un recorrido previo por el área de estudio, que abarca la quinta calle del Barrio El Molino zona 4 y la colonia Valle Nuevo de la zona 3 de la ciudad de Chiquimula, para conocer físicamente el área de estudio y analizar estrategias en la realización de la encuesta a la población (Apéndice 1).

- **Trabajo de campo**

Se empleó un formulario digital con preguntas relacionadas a los desechos sólidos y el proceso que realiza la población del lugar para desechar la basura. Con el apoyo de la impresión de una ortofoto, se identificó con letras del abecedario, desde la A hasta la K; las manzanas del área de estudio.

Se utilizó la ortofoto análoga y digital para identificar cada inmueble del área en estudio, asignando un código único para su identificación.

- **Trabajo de gabinete**

Después de la recolección de la información en campo, se procedió a dibujar cada uno de los predios en el programa Qgis en archivo vectorial de polígonos, agregando los campos correspondientes en la tabla de atributos para vincular los datos de la encuesta.

5.5.2 Desarrollo

- **Recursos**

- Ortofoto digital e impresa
- Lapiceros
- Hojas de papel bond
- Navegador GPS
- Teléfono celular
- Equipo de cómputo
- Programa de análisis de información espacial y cálculo.

- **Trabajo de campo**

Con el código único asignado a cada vivienda del sector, se realizó el levantamiento de información del uso del suelo, recolectando los datos de manera visual y plasmándolos en hojas de papel bond, para ser analizados en un procesador geoespacial.

- **Trabajo de gabinete**

Luego de recopilar la información en campo, se ingresó manualmente a la tabla de atributos del *shape* generado de la delimitación de las viviendas del área de estudio, los usos del suelo, además de identificar los niveles de construcción que tienen cada una de las viviendas.

5.6 Mapeo de elementos territoriales contaminantes

Se inició esta etapa haciendo un recorrido en el área de estudio por calles, avenidas y orilla del río Tacó con el método de observación, toma de fotografías y levantamiento de coordenadas GTM para determinar la ubicación geográfica de cada punto de contaminación.

Los puntos de contaminación se clasificaron en 3 categorías:

- Desechos sólidos inorgánicos
- Desechos de materiales de construcción
- Desechos de agua residuales.

En la tabla 7 se presentan las coordenadas de los puntos de recolección de datos y los tipos de contaminación.

Tabla 7. Coordenadas de puntos de contaminación

No.	X	Y	TIPO
1	601843.9639	1636200.643	Aguas residuales
2	601850.5215	1636203.415	Aguas residuales
3	601953.3732	1636157.528	Aguas residuales
4	602023.1855	1636156.557	Desechos de materiales de construcción
5	601380.5443	1635862.315	Desechos de materiales de construcción
6	601846.3823	1636211.416	Desechos sólidos inorgánicos
7	601908.2795	1636139.611	Desechos sólidos inorgánicos
8	601825.8197	1636024.041	Desechos sólidos inorgánicos
9	601891.1665	1636302.665	Desechos sólidos inorgánicos
10	601942.192	1636277.451	Desechos sólidos inorgánicos
11	601856.5772	1636325.203	Desechos sólidos inorgánicos
12	601743.6722	1636028.655	Desechos sólidos inorgánicos
13	601743.6722	1636028.655	Desechos sólidos inorgánicos
14	601782.1129	1636066.487	Desechos sólidos inorgánicos
15	601724.4059	1636312.724	Desechos sólidos inorgánicos
16	601852.2094	1636192.447	Desechos sólidos inorgánicos
17	601662.2568	1636054.69	Desechos sólidos inorgánicos
18	601591.46	1636094.17	Desechos sólidos inorgánicos
19	601664.8077	1636034.021	Desechos sólidos inorgánicos
20	601649.1317	1636050.732	Desechos sólidos inorgánicos
21	601550.5402	1635865.033	Desechos sólidos inorgánicos

22	601380.5466	1635861.786	Desechos sólidos inorgánicos
23	601380.5443	1635862.315	Desechos sólidos inorgánicos
24	601462.2028	1635832.567	Desechos sólidos inorgánicos
25	601846.4135	1636204.031	Desechos sólidos inorgánicos
26	601846.4326	1636199.495	Desechos sólidos inorgánicos
27	601858.7571	1636198.281	Desechos sólidos inorgánicos
28	601839.4091	1636112.204	Desechos sólidos inorgánicos
29	601818.0162	1636121.715	Desechos sólidos inorgánicos

Asimismo, se realizó un cuestionario para entrevistar a 4 industrias que se ubican geográficamente en el área de estudio, el cuestionario consiste en 10 preguntas que indagan sobre los procesos que realiza cada industria relacionados con la recolección de desechos sólidos y la forma que es tratada los desechos orgánicos e inorgánicos (Apéndice 2).

5.7 Foro de regularización

Se desarrolló un foro presencial y virtual denominado “La contaminación del río Tacó, parte baja del municipio de Chiquimula”, en las instalaciones del Centro Universitario de Oriente -CUNORI- y transmitido en vivo por medio de las redes sociales. El foro se dirigió a la población en general para dar a conocer la situación de la contaminación en el río Tacó.

Al no contar con una ley ordinaria emitida por el Congreso de la República de Guatemala en la que proteja, organice, cree instituciones y sancione, quedó la oportunidad de discutir la normativa legal a nivel local municipal.

5.8 Muestra de agua del río Tacó

- **Trabajo de gabinete**

Con el programa QGIS e imágenes satelitales, se analizó el área de estudio y se estableció la ubicación geográfica de 6 puntos para la toma de muestras de agua:

- 5 muestras de agua en el río Tacó distribuidas estratégicamente antes que ingrese al área urbana de Chiquimula hasta la desembocadura en el río San José.
 - 1 muestra en el tanque de tratamiento de agua del río Tacó para consumo domiciliar que se ubica en el barrio El Molino, zona 4 de Chiquimula.
- **Trabajo de campo**
 - Las botellas plásticas utilizadas para la recolección del agua se esterilizaron para eliminar cualquier contaminación.
 - Se recolectó la muestra de agua de los 6 puntos determinados en gabinete, a cada botella plástica se agregó una etiqueta de identificación para evitar confusión en los resultados.
 - Para almacenar la muestra de agua se utilizaron hieleras manteniendo la muestra de agua en una temperatura aproximadamente de 4°C.
 - **Transporte al laboratorio**

La muestra recolectada se trasladó al laboratorio en un periodo de tiempo menor de 24 horas, debido a que si se trasladara en un período de mayor tiempo se podrían ocasionar alteraciones en los resultados. En la tabla 8 se detallan las coordenadas que se emplearon para las muestras de agua del río.

Tabla 8. Coordenadas de muestras de agua

No.	X	Y	Observación
1	600687.966	1635826.76	Punto inicial
2	601321.824	1635767.35	Tanque de agua
3	603154.279	1636083.35	Punto cementerio
4	603922.621	1636137.07	Punto INTECAP
5	604326.37	1635606.34	Punto final
6	601812.601	1636152.62	Punto Zona 3 y 4

5.9 Esquema de actividades



Figura 17. Actividades desarrolladas

6. RESULTADOS

6.1 Inventario predial en la parte baja de la microcuenca del Río Tacó

Se realizó el inventario predial del área en estudio, con una extensión territorial de 24.09 hectáreas, obteniendo como resultado el levantamiento de 548 predios. A cada uno de los predios se le asignó un código único para su identificación. De la misma manera, la información recolectada en las boletas de campo fue digitalizada en la tabla de atributos de la capa predial, y se realizó el cruce de datos para analizar e interpretar los resultados.

De los 548 predios levantados en el área de estudio, se clasificaron en tres categorías:

a) Con información: los habitantes 204 predios 37.23% “proporcionaron información” sobre el proceso de los desechos sólidos.

b) Sin uso: el uso del suelo de 53 predios se les denominó “sin uso” por no contar con construcciones de viviendas, por tal razón no aplicó para el proceso de la encuesta, corresponde al 9.67%.

c) Sin información: no se cuenta con información de la encuesta realizada en el área de estudio de 291 predios 53.10%, los cuales se divide en dos subcategorías:

- **Incompareciente:** los habitantes de 184 predios no proporcionaron información de la encuesta al expresar no estar de acuerdo con el proceso realizado, no tener tiempo, estar ocupados realizando otras actividades en el hogar; lo 33.58%.
- **Ausentes:** a los habitantes de 107 predios se les denominó “ausentes” al momento de visitar la vivienda porque no fue posible localizarlos; lo 19.52%.

El detalle de los vecinos incomparecientes y ausentes se presenta de manera visual en la figura 18.

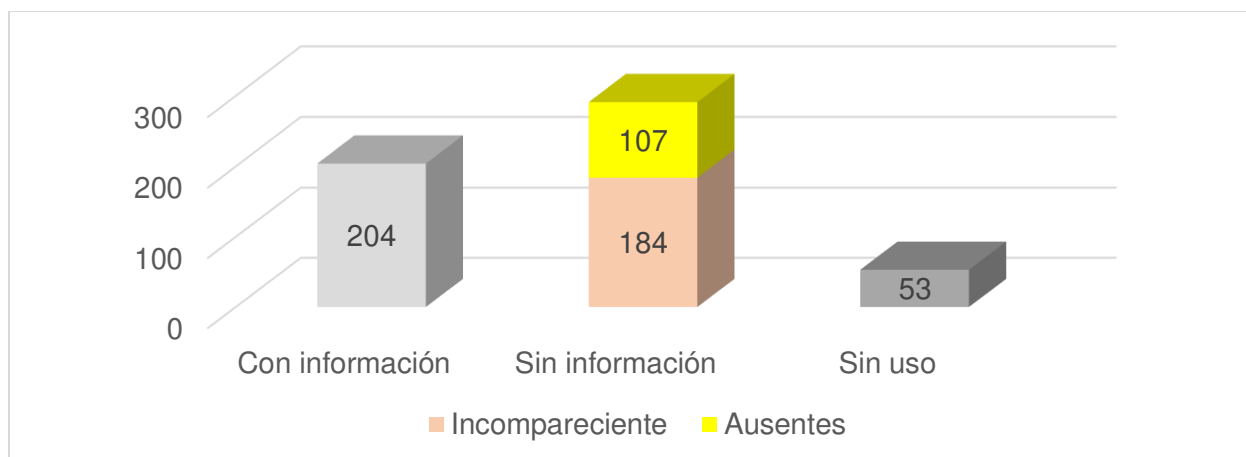


Figura 18. Proceso del inventario predial

En el área de estudio se identificó un puente que es el acceso vehicular y peatonal entre la zona 3 y zona 4 en la parte baja de la microcuenca del río Tacó. A su vez, se dibujó la capa especial de infraestructura vial y cuerpo de agua, como se muestra en la figura 19.

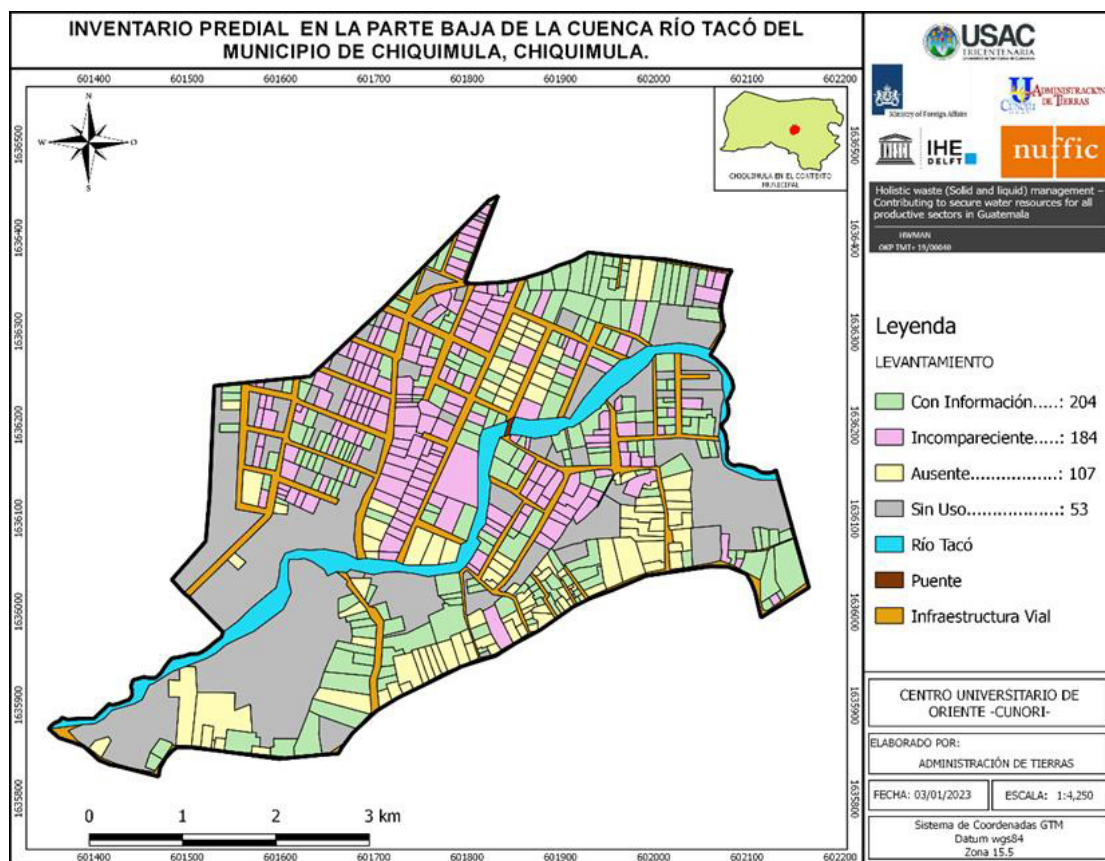


Figura 19. Mapa de predios digitalizados

Se determinó que en la zona 4 se obtuvo mayor participación de los habitantes sobre su actividad vinculada al tratamiento de los desechos sólidos con el proceso de las encuestas.

6.2 Inventario predial por zonas

El área en estudio se encuentra ubicada geográficamente en dos zonas del área urbana del casco urbano del municipio de Chiquimula; sobre sus predios se detalla:

- Zona 3

Se realizó el inventario de 305 predios 55.66% de la cantidad total, con un área territorial de 11.35 ha.

- Zona 4

Se realizó el inventario de 243 predios 34.44% de la cantidad total, con un área territorial de 12.74 ha.

En la figura 20 se presenta la cantidad de predios de las zonas 3 y 4, y en la figura 21 el mapa que muestra la distribución de estos.

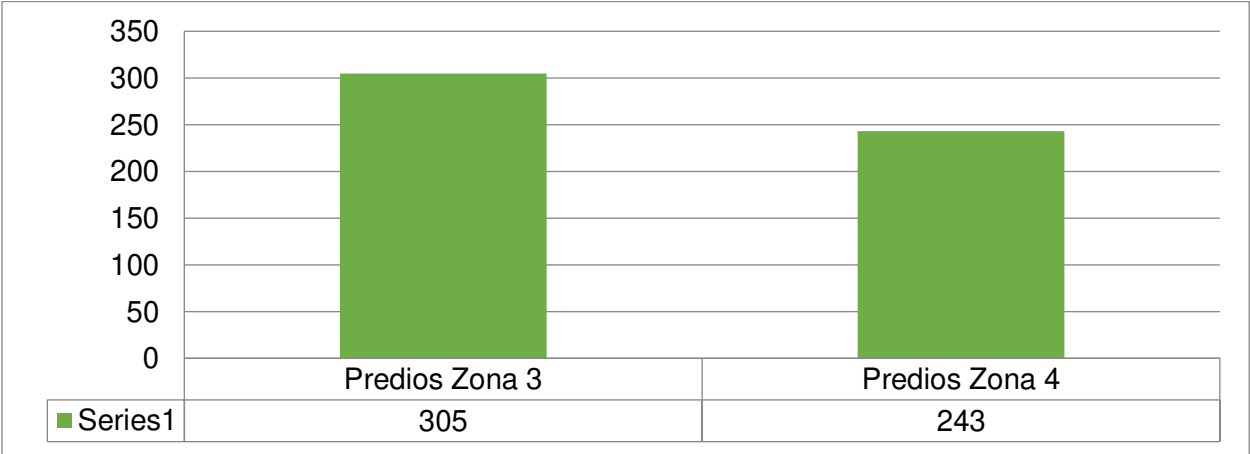


Figura 20. Cantidad de predios de las zonas 3 y 4

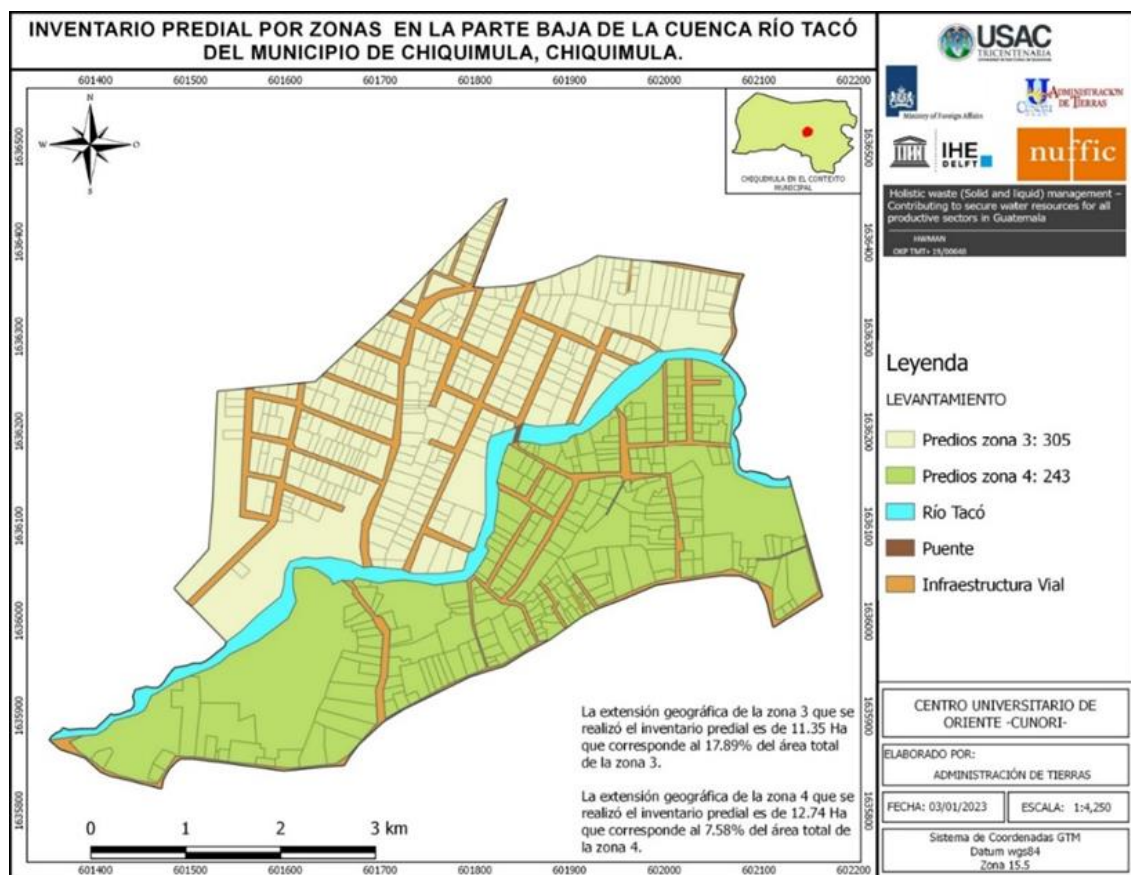


Figura 21. Mapa de predios digitados por zona

6.3 Uso del suelo

De los 548 predios digitalizados se identificó que el uso de suelo que más predomina es el habitacional con 454 que corresponden al 82.85%.

Luego se identificaron 53 predios sin uso 9.67%; predios de uso mixto se identificaron 19, correspondientes al 3.47%; uso comercial 17 para el 3.10%; para el uso religioso se identificaron 4 predios que corresponden al 0.73% y de parqueo se identificó solo un predio que representa el 0.18%. Los detalles se presentan graficados en las figuras 22 y 23.

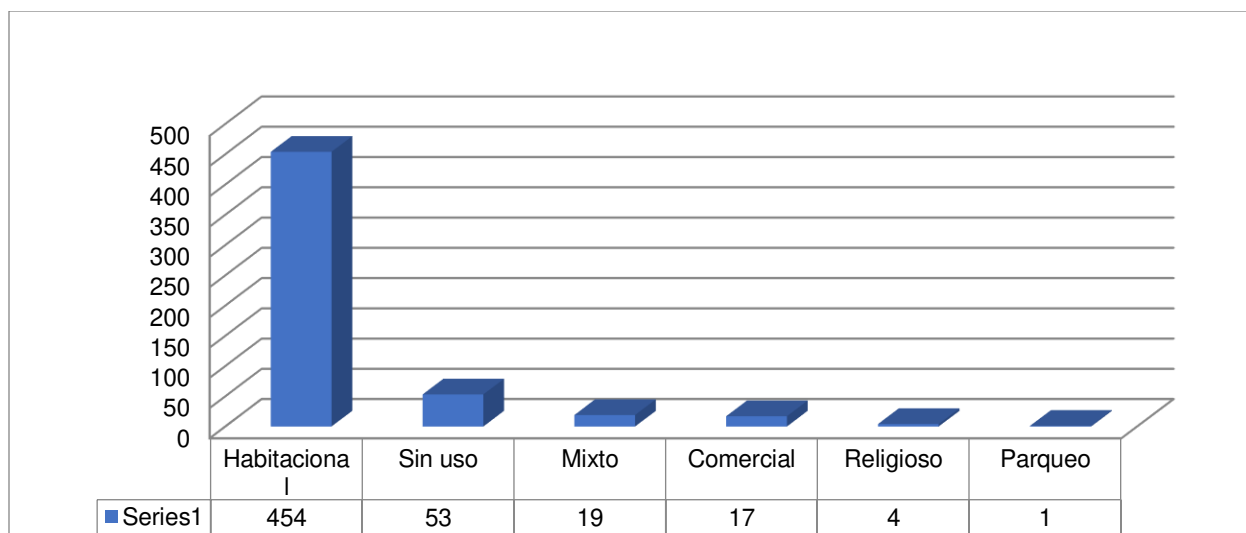


Figura 22. Cantidad de predios por uso del suelo

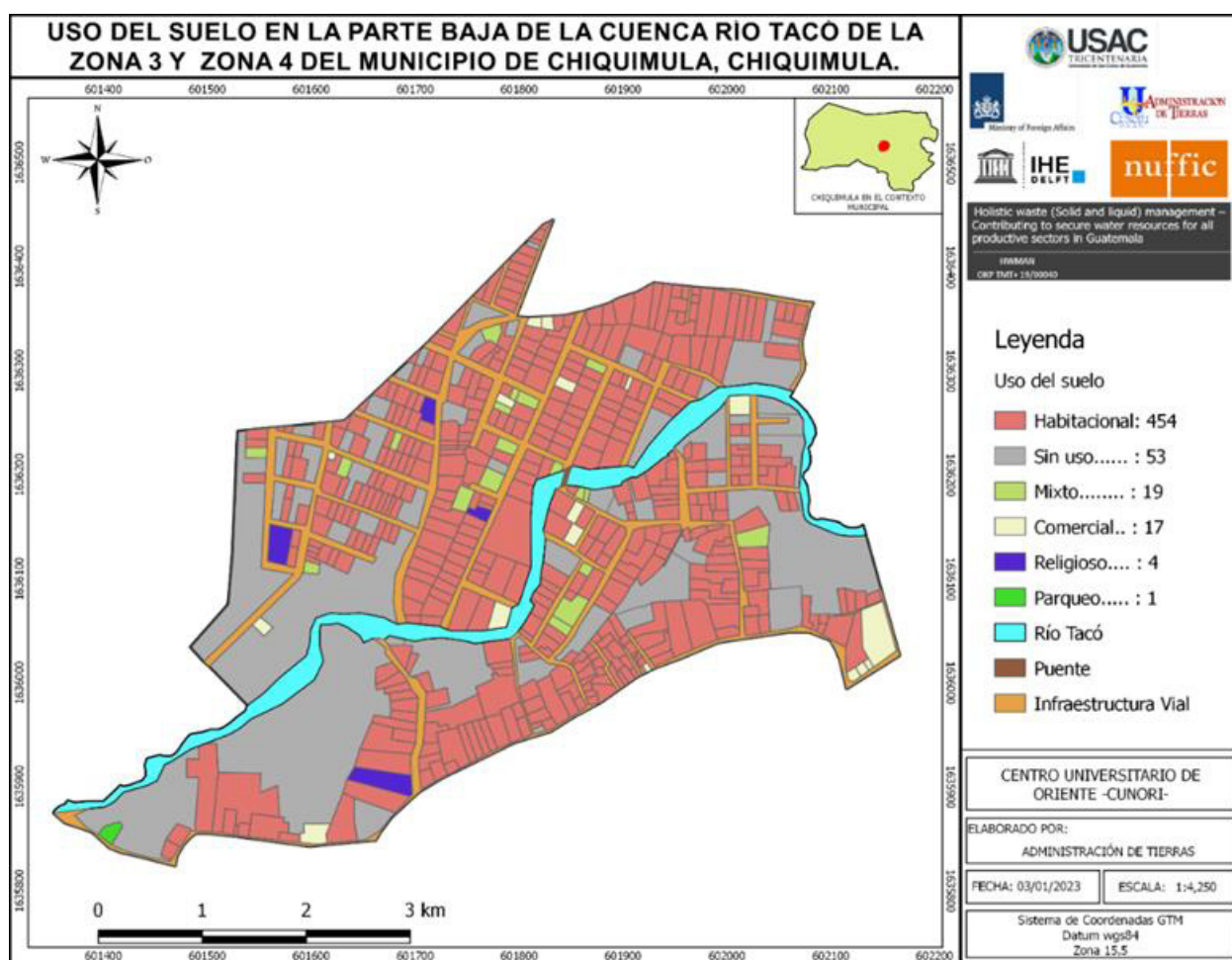


Figura 23. Mapa de uso del suelo

Conocer el uso del suelo de los predios le permitirá a la municipalidad tomar decisiones para realizar gestiones de desarrollo urbanístico y buena gobernanza, cumpliendo con las necesidades de la población para mejorar la calidad de sus vidas.

Los predios “sin uso” son los que cuentan con mayor extensión territorial y su ubicación geográfica es, en las orillas de la microcuenca del río Tacó, es por ello que crece más la importancia de contar con un plan de ordenamiento territorial.

6.4 Niveles de construcción

De los 548 predios digitalizados se logró observar los niveles de construcción de cada inmueble, determinando que el que más predomina es de un (1) nivel, con un total de 417 viviendas que corresponden al 76.09%.

Se identificaron 75 viviendas que cuentan con dos niveles de construcción, correspondientes al 13.69%; se identificaron 3 viviendas que cuentan con 3 niveles de construcción, las que representan el 0.55% y se identificaron 53 predios que no cuentan con construcción, lo que se cuantifica como el 9.67%. En la figura 24 se presenta la cantidad de predios por nivel de construcción y en la 25 el mapa.

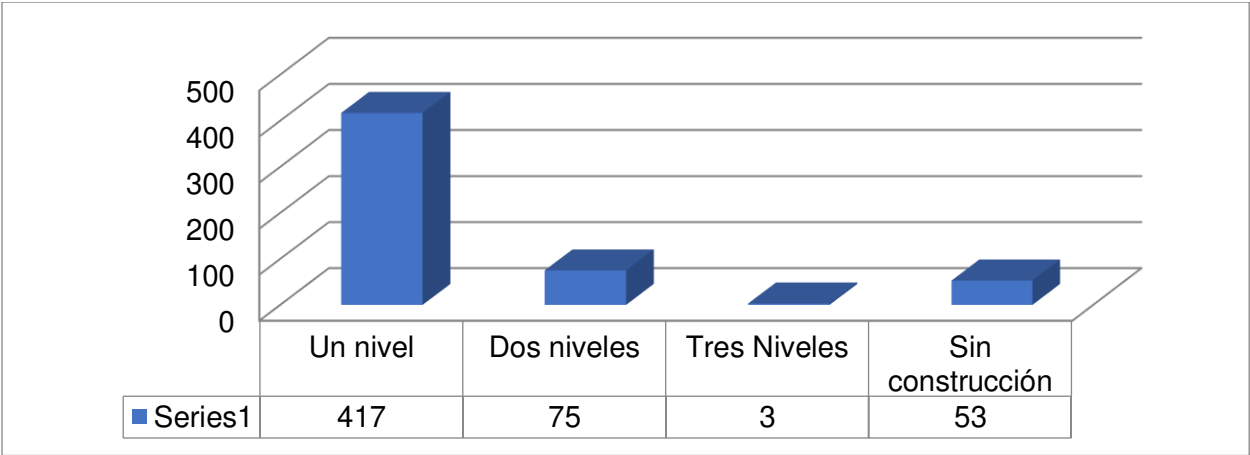


Figura 24. Cantidad de predios por nivel de construcción

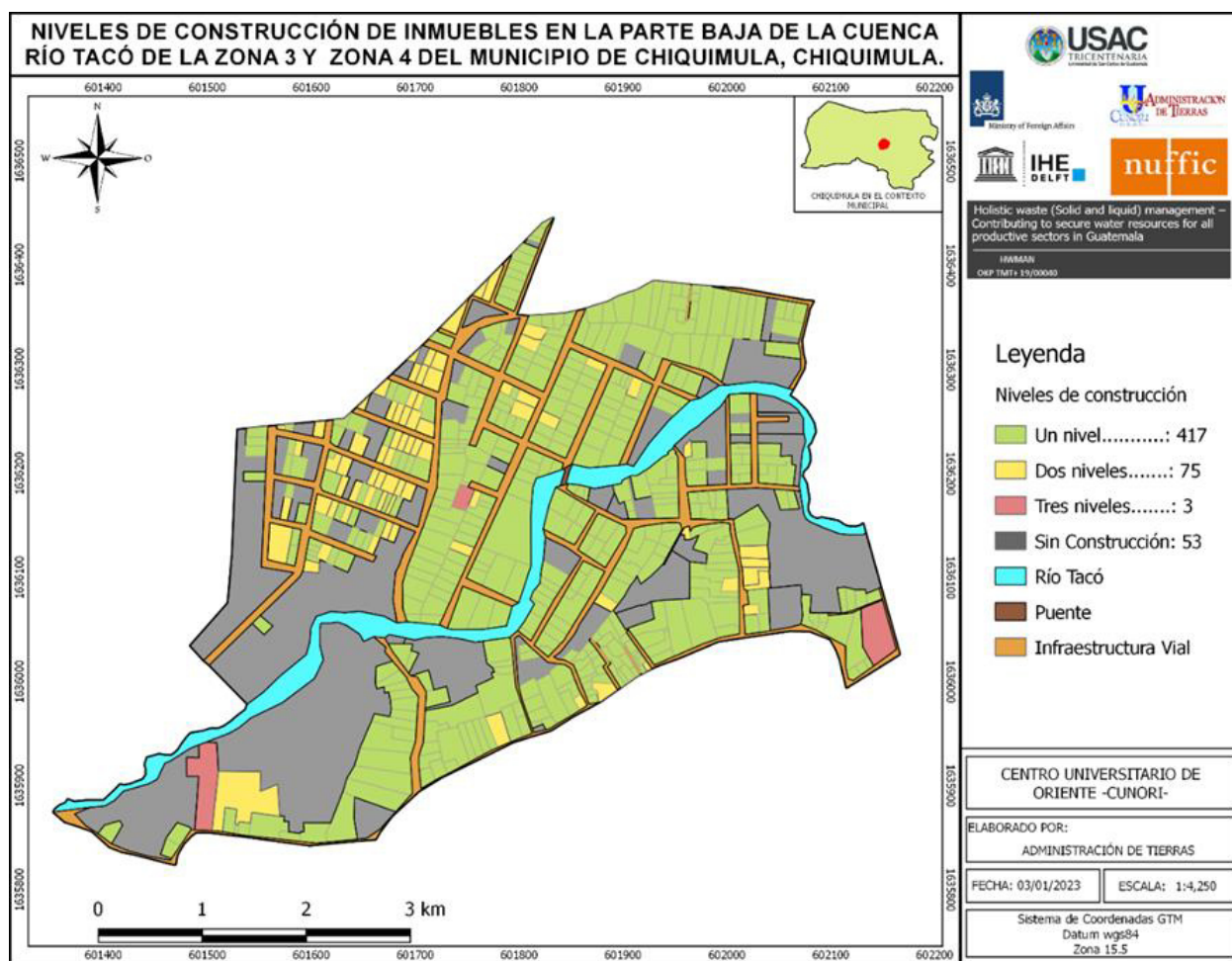


Figura 25. Mapa de los niveles de las viviendas

De los 204 inmuebles de los que los habitantes proporcionaron información, se determinó que los inmuebles de un (1) nivel y dos niveles son en los que se conglomeran más personas, estimándose entre 1 a 5 habitantes por lugar; de los tres inmuebles de tres niveles de construcción únicamente el que se ubica en el lado “Este” proporcionó información con un rango de 6 a 10 habitantes.

6.5 Habitantes por vivienda

La población del sector es amplia y la improvisación de viviendas ha hecho que familias con numerosos integrantes, vivan en lugares muy pequeños.

De los 548 predios digitalizados se determinó que el rango de habitantes que más predomina es de 1 a 5 habitantes con un total de 129 viviendas (23.54%); 64 viviendas que cuentan con un rango entre 6 a 10 habitantes (11.68%); 8 viviendas que cuentan con un rango entre 11 a 15 habitantes (1.46%); del rango de 16 a más habitantes por vivienda se identificaron 3 (0.55%). Además, 53 predios no cuentan con construcción (9.67%) y para 291 inmuebles no se cuenta con información alfanumérica por ser predios incomparecientes o ausentes (53.10%). Estos datos se reflejan en las figuras 26 y 27.

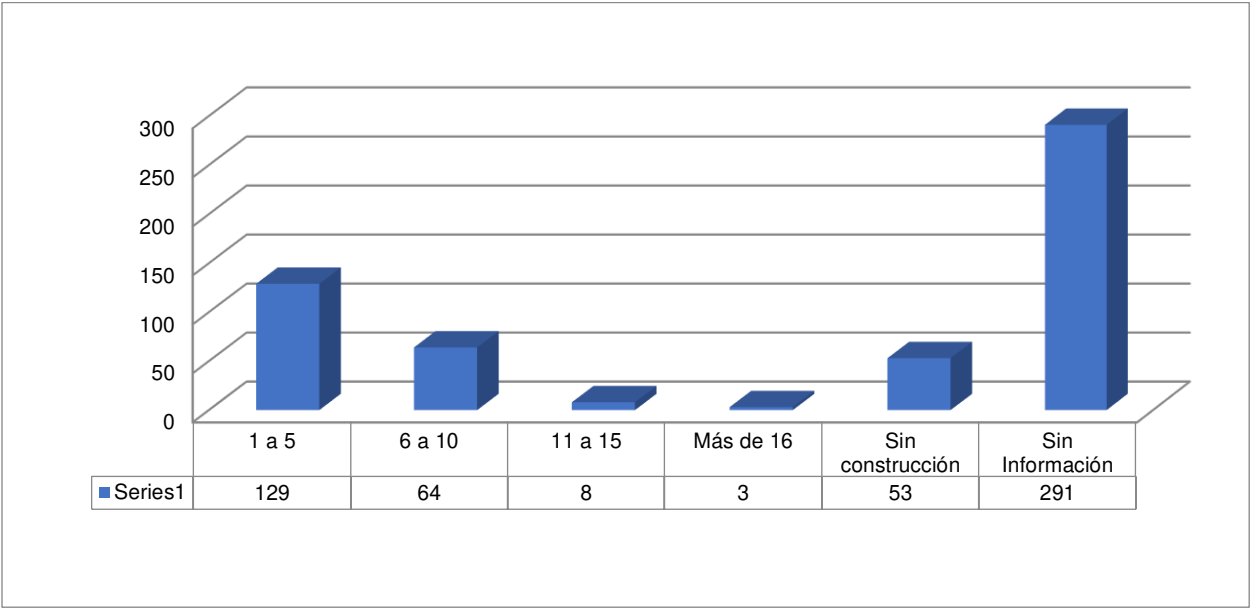


Figura 26. Rango de cantidades de habitantes por predios

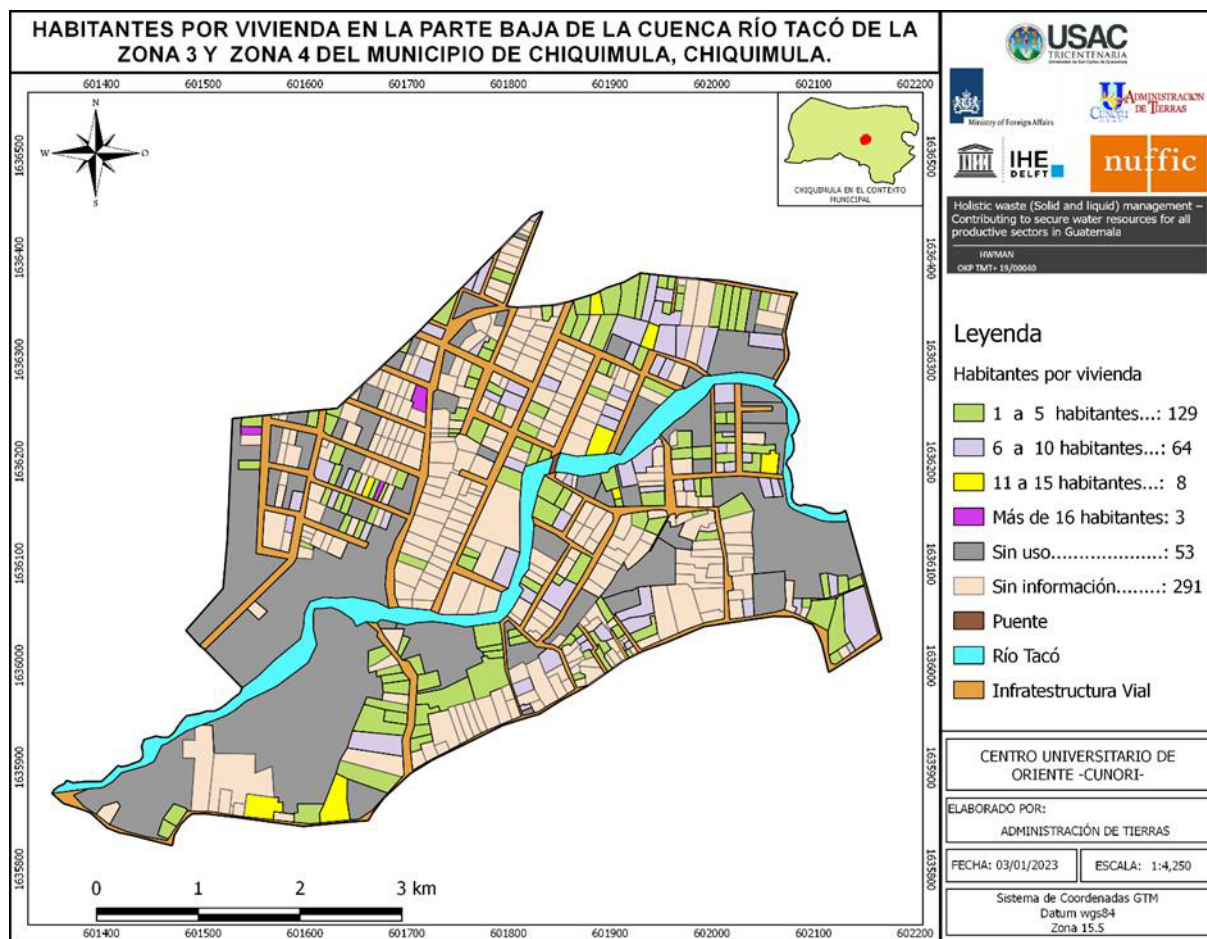


Figura 27. Mapa de habitantes por vivienda

Se determinó que los tres inmuebles con el rango denominado “más de 16 habitantes” por vivienda es de un nivel de construcción, lo que refleja que en el área de estudio existe pobreza y desigualdad en las viviendas.

6.6 Análisis de predios ubicados en zona de riesgo de la parte baja del Río Tacó

Para determinar la zona de riesgo se realizó el cruce de información de archivos vectoriales y raster. Realizando el proceso de amortiguamiento (*buffer*) con una distancia de 50 metros lineales desde el centro de la microcuenca del río Tacó, a su vez se tomó en consideración el Modelo Digital del Terreno y curvas de nivel, identificando a 157 predios como vulnerables por inundaciones.

Con la información obtenida de los 157 predios vulnerables por inundación se determinó que el uso de suelo más afectado es el habitacional con 116 predios, de los cuales 113 son construcciones de un (1) nivel y 3 inmuebles de 2 niveles, afectando a un aproximado de 628 personas de diferentes edades, como se detalla en la tabla 9 y se ilustra en la figura 28.

Tabla 9. Uso del suelo y niveles de construcción de los inmuebles

Uso del suelo	Nivel de construcción		Total de inmuebles
	Un nivel	Dos niveles	
Habitacional	113	3	116
Mixtos	9	0	9
Comercial	4	0	4
Religioso	1	0	1
Sin Uso	N/A	N/A	27

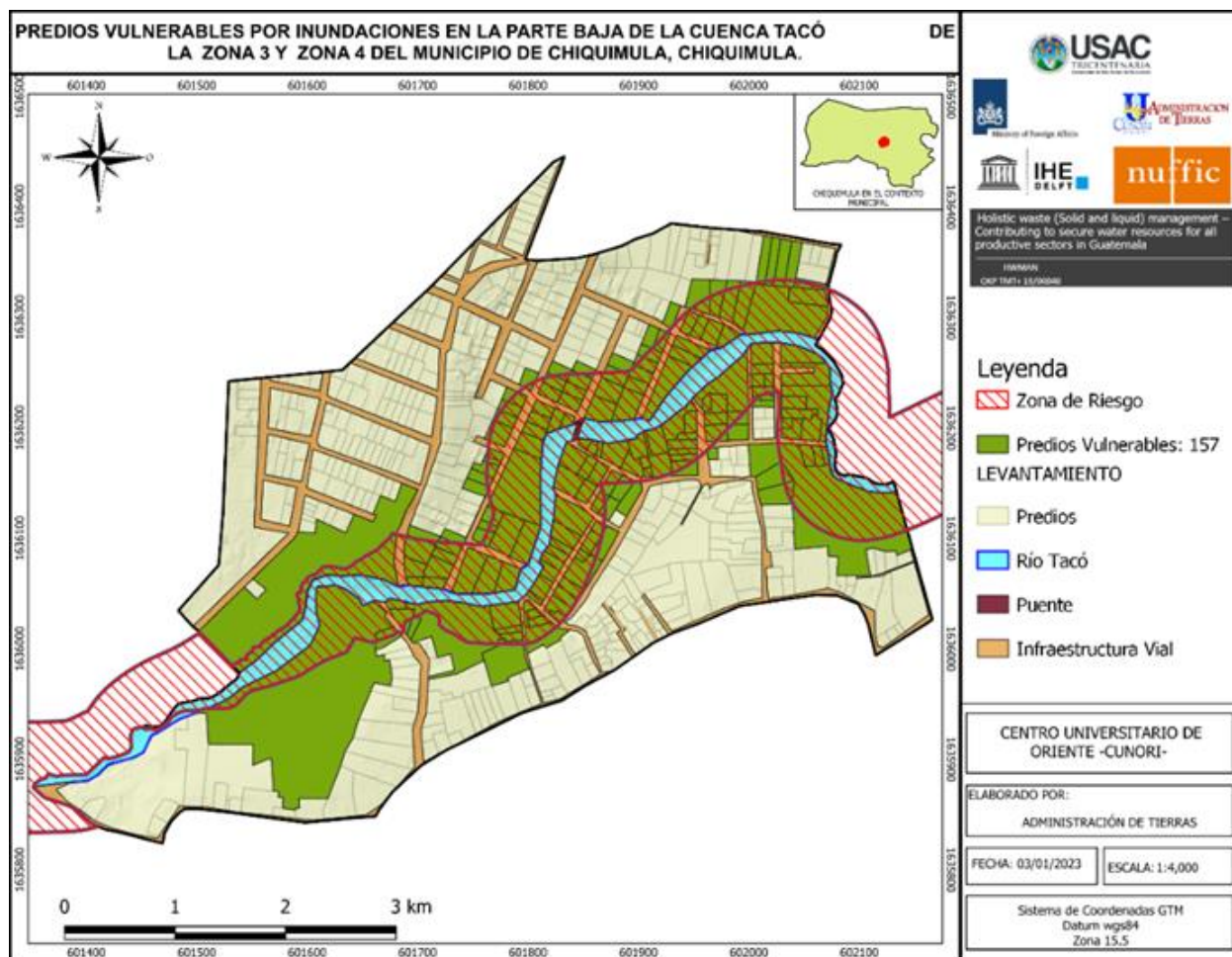


Figura 28. Predios vulnerables por inundaciones en la parte baja de la cuenca Tacó

6.7 Desechos que más producen en las viviendas

Para la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales sobre el manejo de los desechos sólidos, es importante tener el conocimiento qué tipo de basura es la que más produce la población del área de estudio. En este caso se identificaron 171 viviendas en las que sus habitantes producen mayor cantidad basura inorgánica (31.20%) y 33 viviendas en las que es mayor el desecho orgánico (6.02%).

Se identificaron 53 predios que no cuentan con construcción (9.67%) y 291 de los que no se cuenta con información alfanumérica por ser predios incompareciente y ausentes, correspondiente al 53.10%, como se presenta en las figuras 29 y 30.

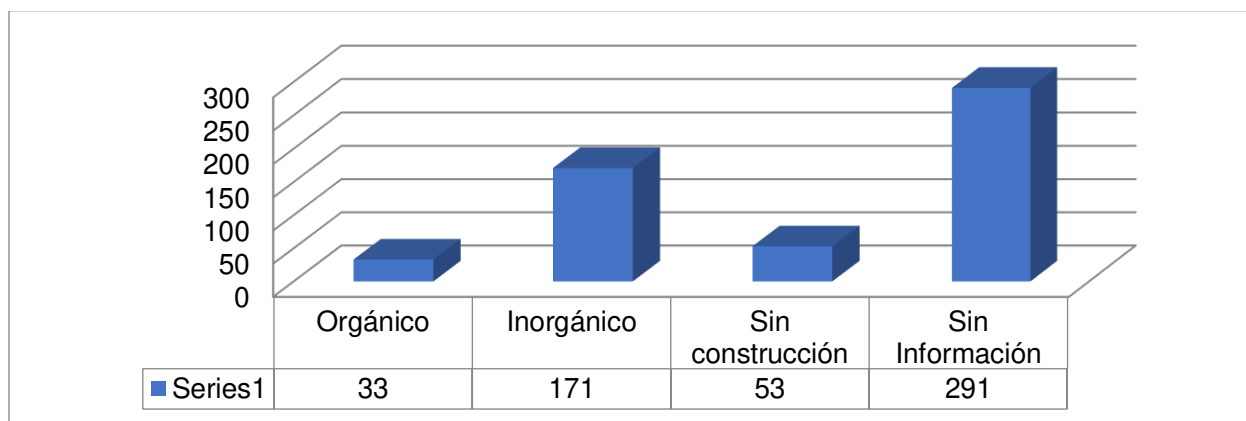


Figura 29. Cantidad de tipo de basura que más producen

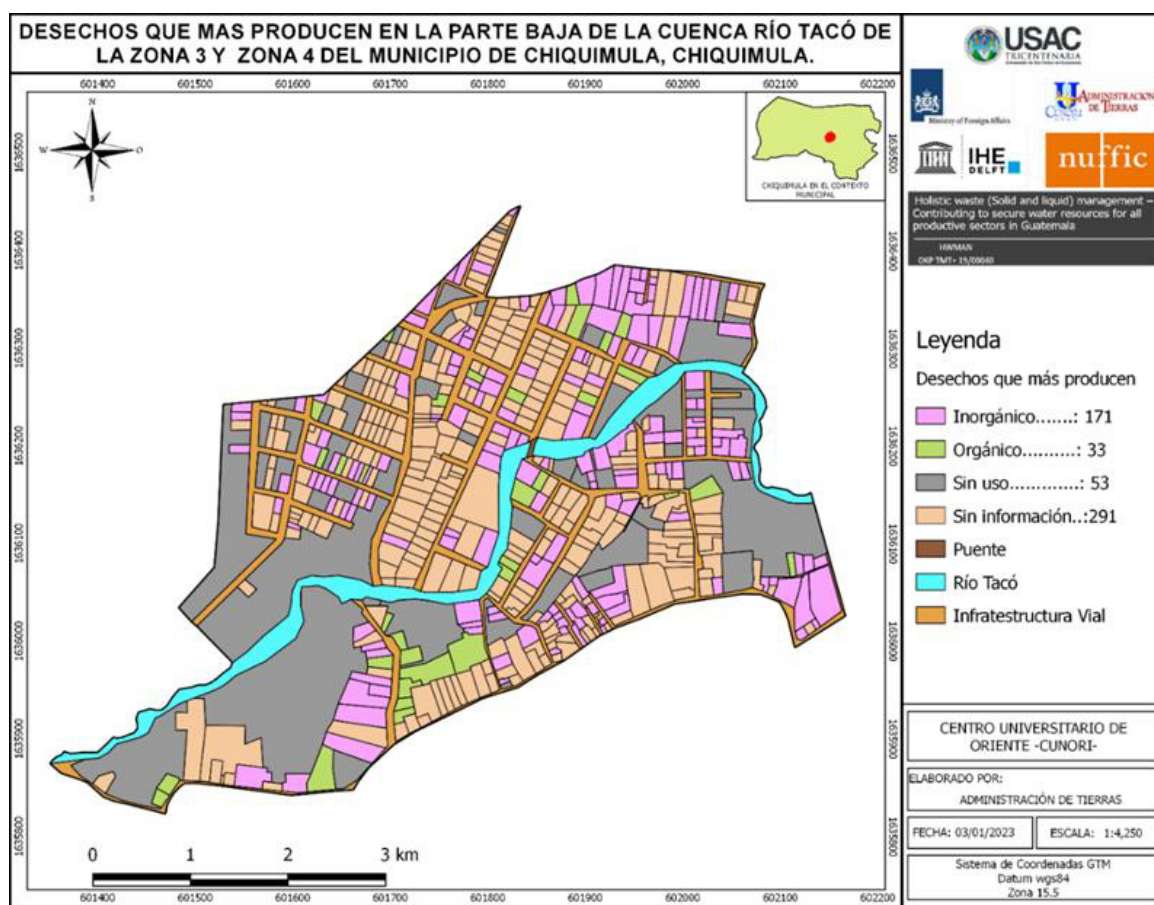


Figura 30. Mapa del tipo de basura que más producen

6.8 Cantidad de bolsas (30 litros) de basura por semana

Sobre la cantidad de bolsas de 30 litros de basura que la población del sector produce durante la semana, se encontró que en 67 predios declararon que recolectan una bolsa (12.23%), en 83 dos bolsas (5.15%); en 30 tres bolsas (5.47%) y en 24 predios declararon que recolectan más de 3 bolsas (4.38%).

Se identificaron 53 predios que no cuentan con construcción (9.67%) y 291 inmuebles para los que no se cuenta con información alfanumérica (por ser predios incompareciente y ausentes, correspondiente al 53.10%). Los detalles se ilustran en las figuras 31 y 32.

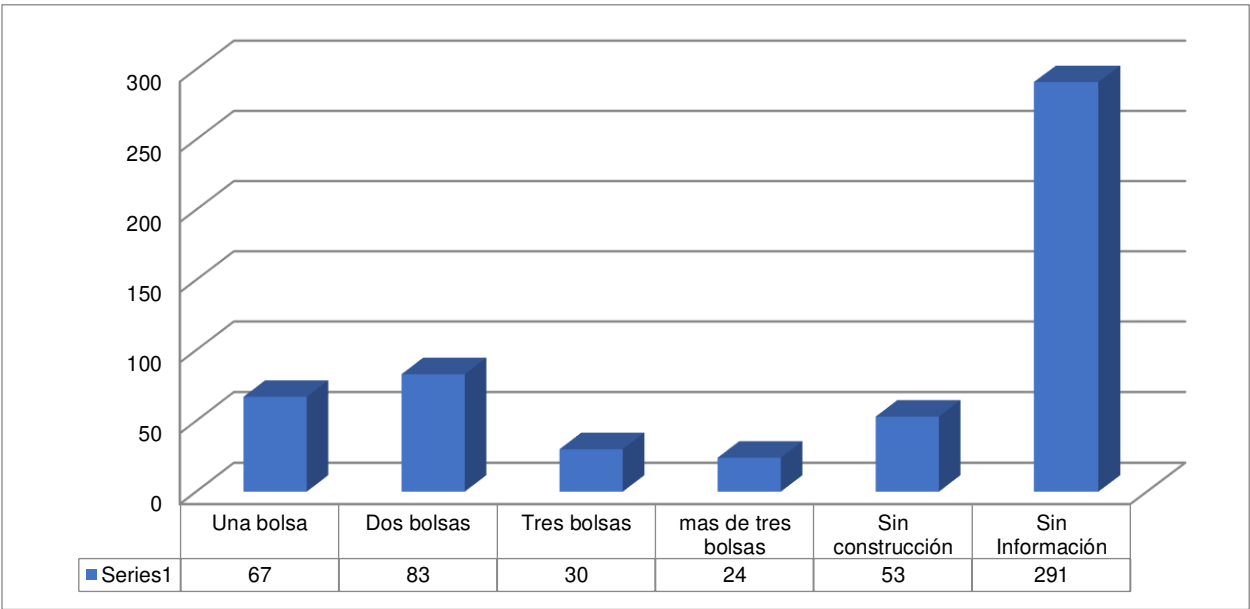


Figura 31. Cantidad de bolsas de basura por semana

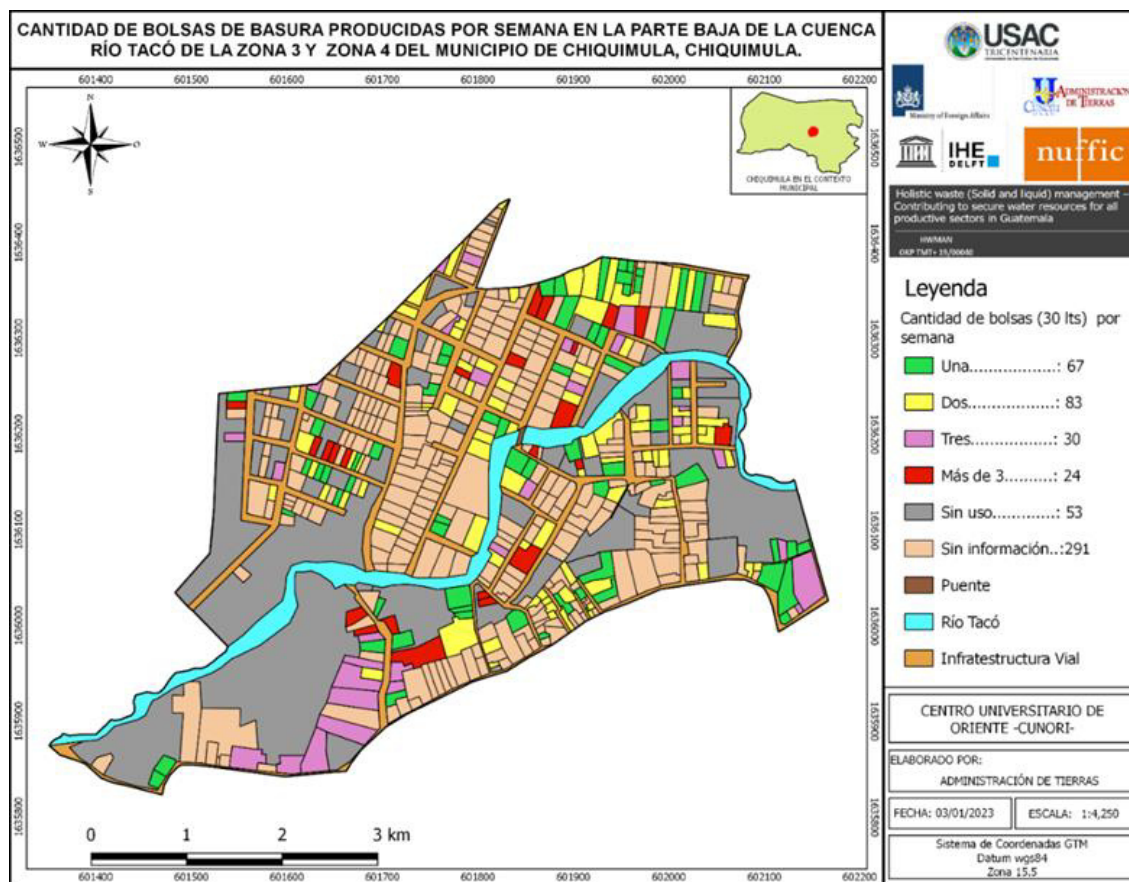


Figura 32. Mapa de cantidad de bolsas de basura que se producen por semana

6.9 Clasificación de desechos

Dentro de la encuesta se realizaron preguntas relacionadas a la clasificación de la basura, identificando que de los 548 predios digitalizados para 74 los habitantes declararon que realizan la actividad de clasificación de los desechos sólidos (13.50%); en 130 no realiza la clasificación de los desechos sólidos (23.72%), 53 predios no cuentan con construcción (9.67%) y para 291 no se cuenta con información alfanumérica (por ser predios incompareciente y ausentes, corresponde al 53.10%). En las figuras 33 y 34 se ilustran los resultados.

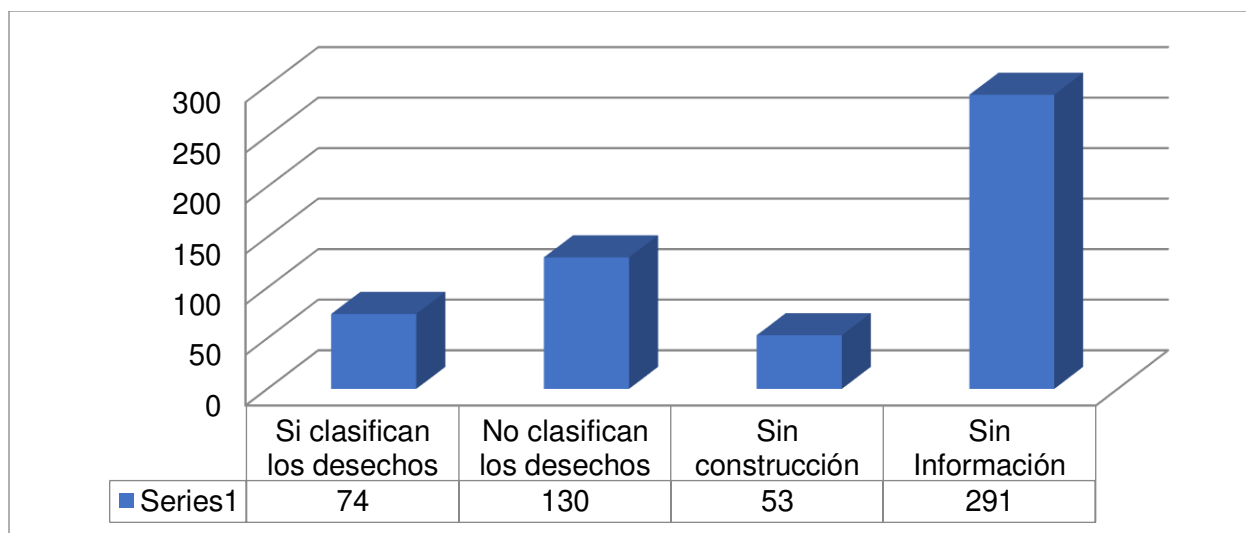


Figura 33. Cantidad en predios que clasifican los desechos

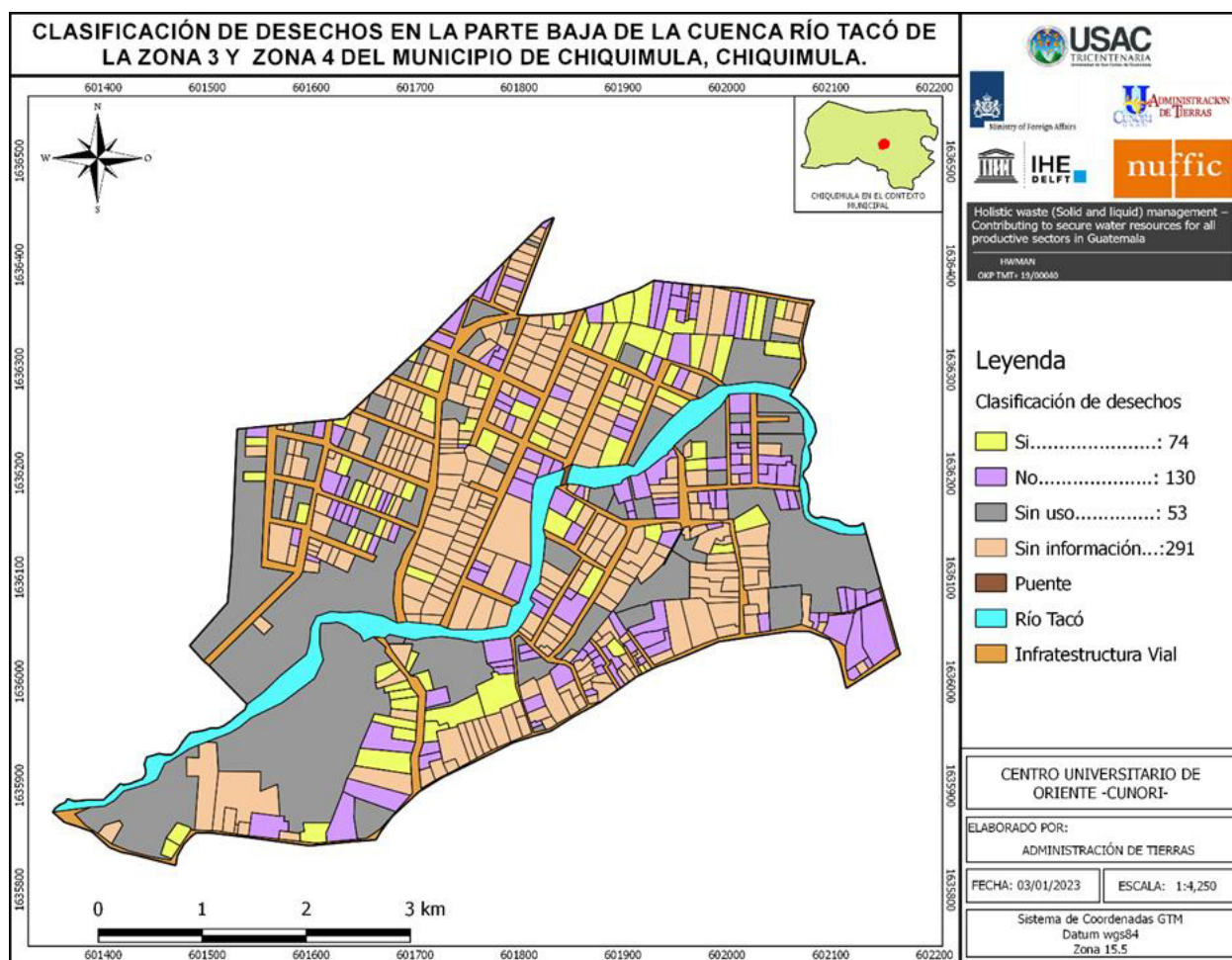


Figura 34. Mapa de clasificación de la basura

6.10 Proceso de almacenamiento de la clasificación de desechos

De los 74 predios que clasifican los desechos sólidos, 64 lo hacen en diferentes tipos de bolsas (11.68%), en 10 declararon que clasifican los desechos en contenedores de colores (1.82%) y en 130 no realizan el proceso de clasificación de desechos (23.72%). Asimismo, se identificaron 53 predios que no cuentan con construcción 9.67% y 291 inmuebles que no se cuenta con información (53.10%). En las figuras 35 y 36 se presentan de manera gráfica los resultados.

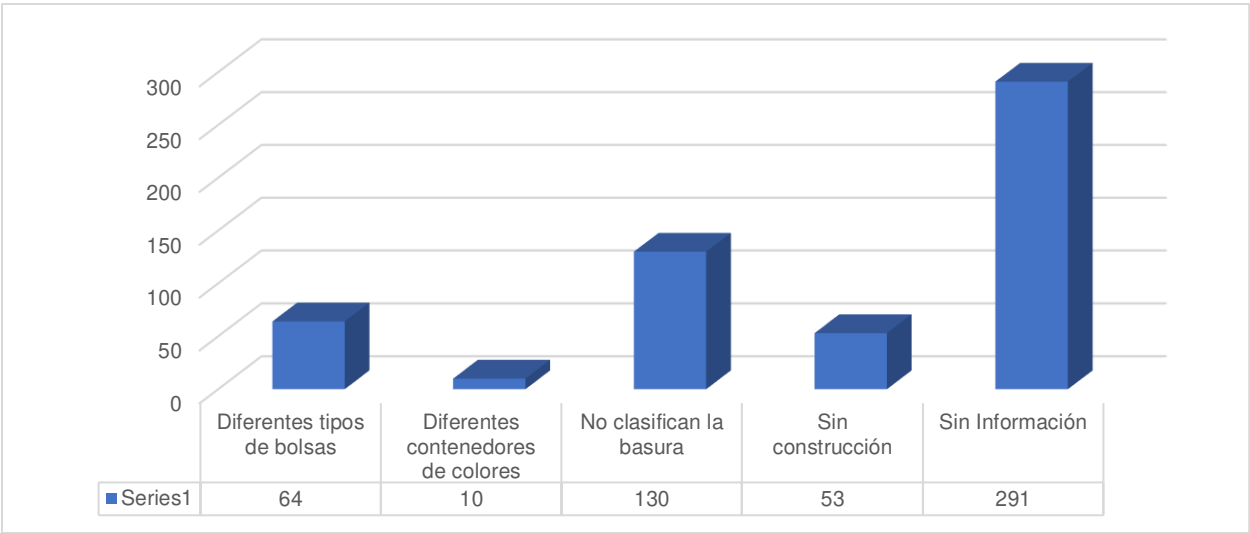


Figura 35. Proceso de clasificación de desechos

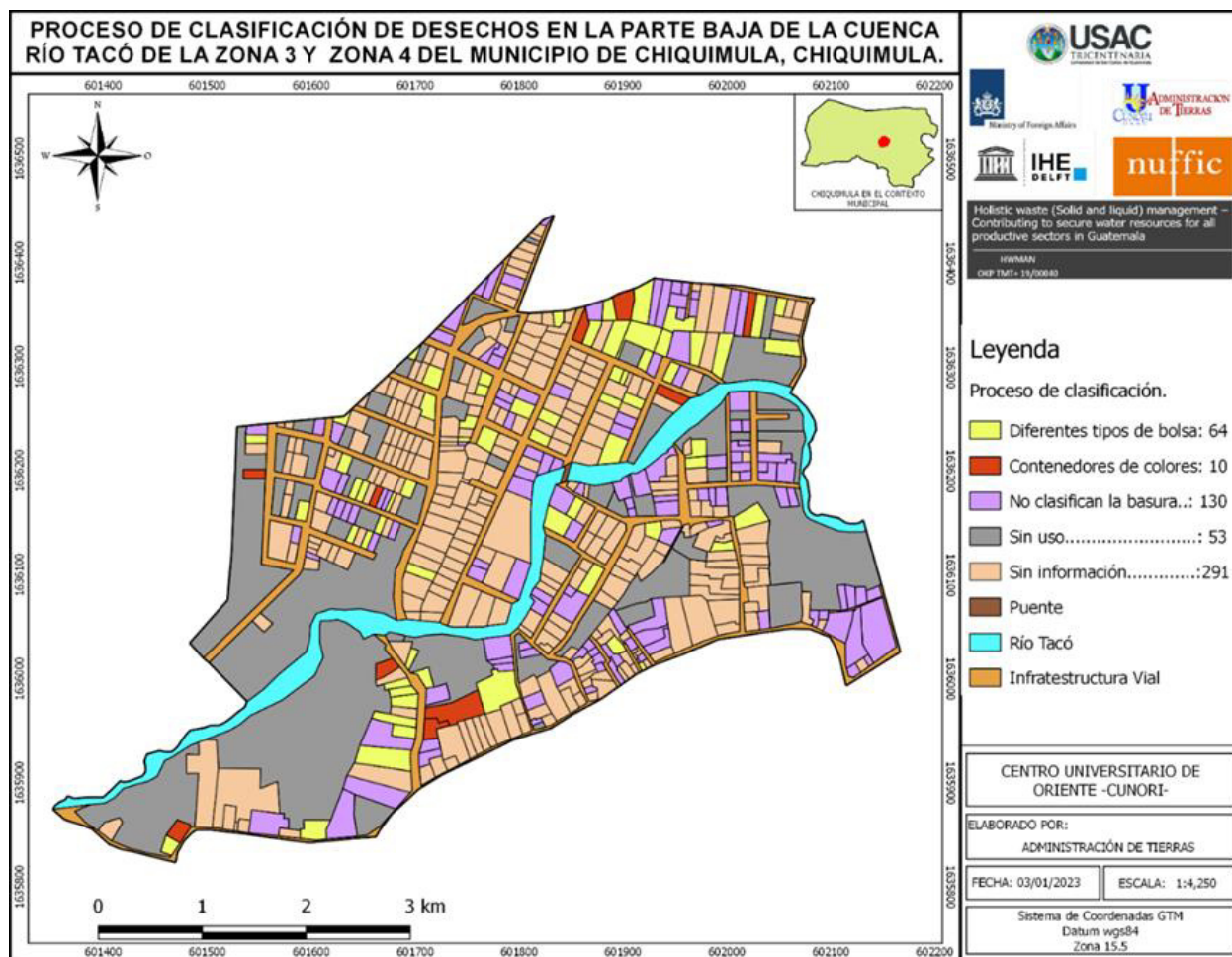


Figura 36. Proceso de clasificación de desechos en la parte baja de la cuenca río Tacó

6.11 Producción de aboneras

Dentro del proceso de clasificación de los desechos sólidos, los habitantes declararon que realizan procesos de producción de aboneras orgánicas con el propósito de obtener ingresos de capital en sus hogares. De los 548 predios se identificaron 55 predios utilizan los desechos para la producción de aboneras orgánicas (10.04%) y en 149 no realizan dicha actividad (27.19%). En las figuras 37 y 38 se ilustran los resultados.

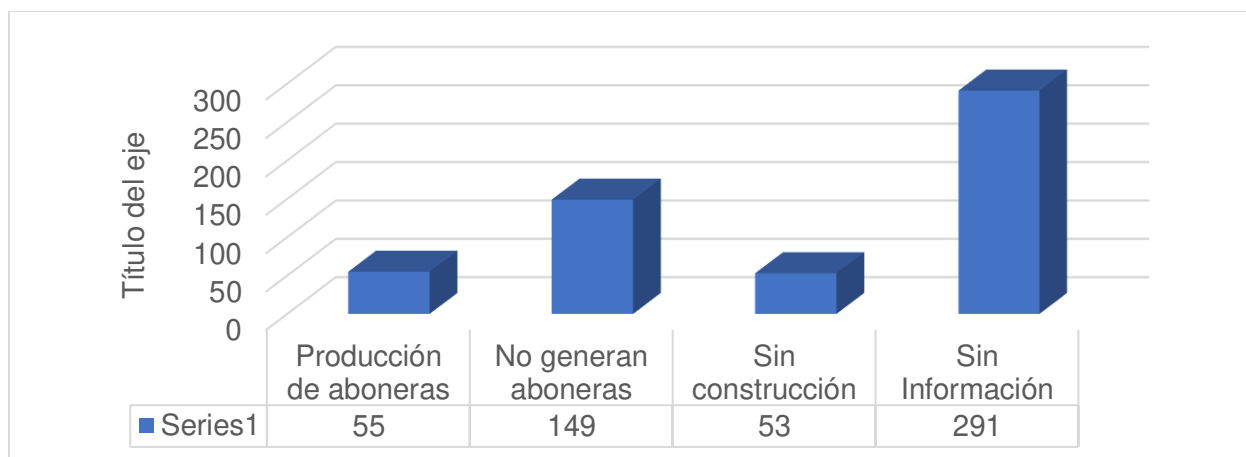


Figura 37. Producción de aboneras

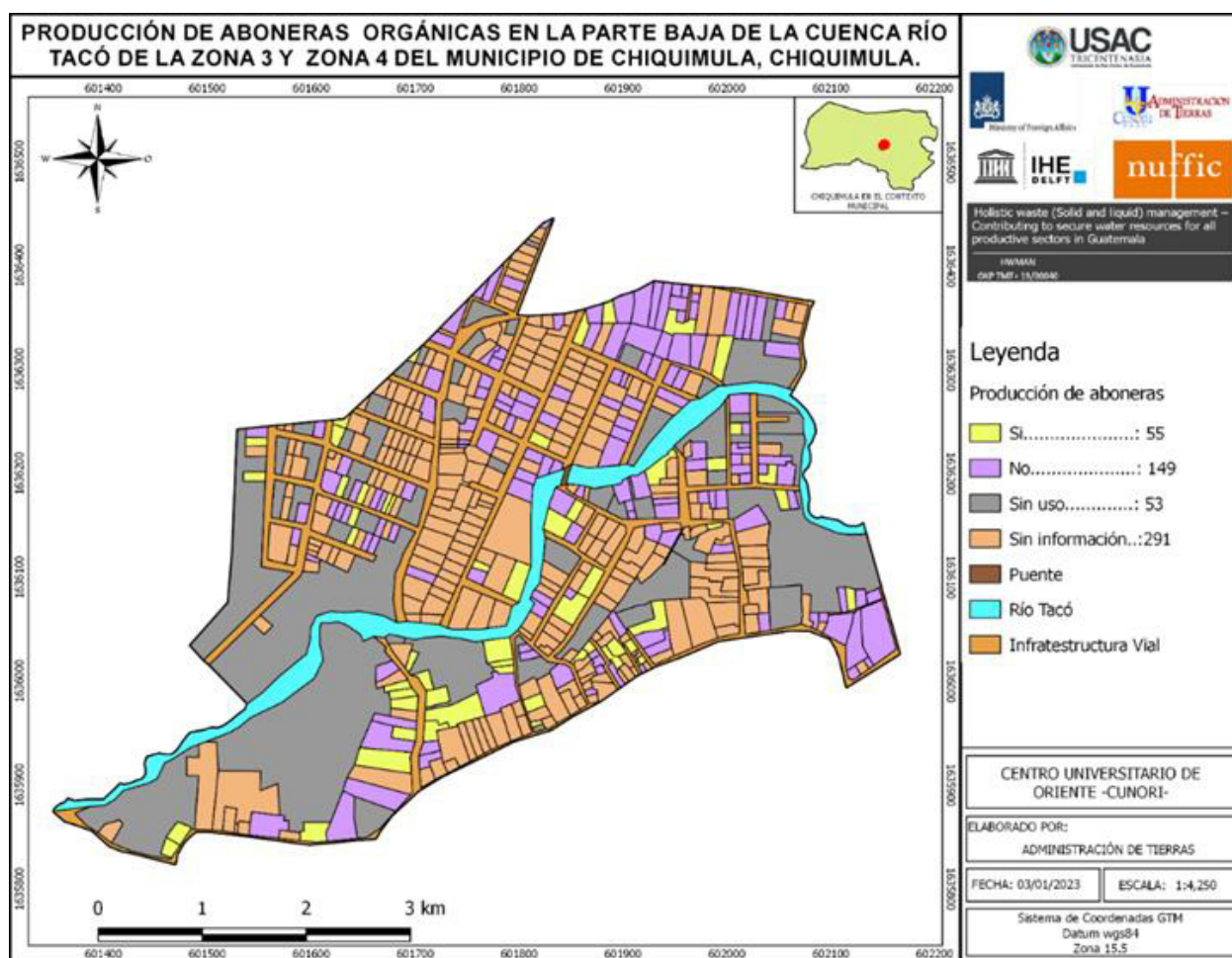


Figura 38. Producción de aboneras orgánicas en la parte baja de la cuenca del río Tacó

6.12 Recolección de desechos

Para evitar la acumulación de basura es importante que exista la recolección de la misma; los días que el tren de aseo se dedica a la recolección, debería depender de la demanda que exista en el sector, pues si la cantidad es muy grande por día, la acumulación será mayor y, por ende, el foco de contaminación en los hogares o los lugares donde se deposite por necesidad serán mayores.

En el área de estudio, el tren de aseo municipal y privado pasa recolectando la basura una vez por semana, el día depende del sector en el que se encuentre cada vivienda. Se determinó que en 165 predios los habitantes declararon que desechan la basura una vez por semana (30.11%), en 35 desechan la basura dos veces por semana (6.39%) y en 2 desechan la basura en forma diaria (3.36%). A continuación, en las figuras 39 y 40 se presenta una gráfica y un mapa para exponer los resultados de manera ilustrativa.

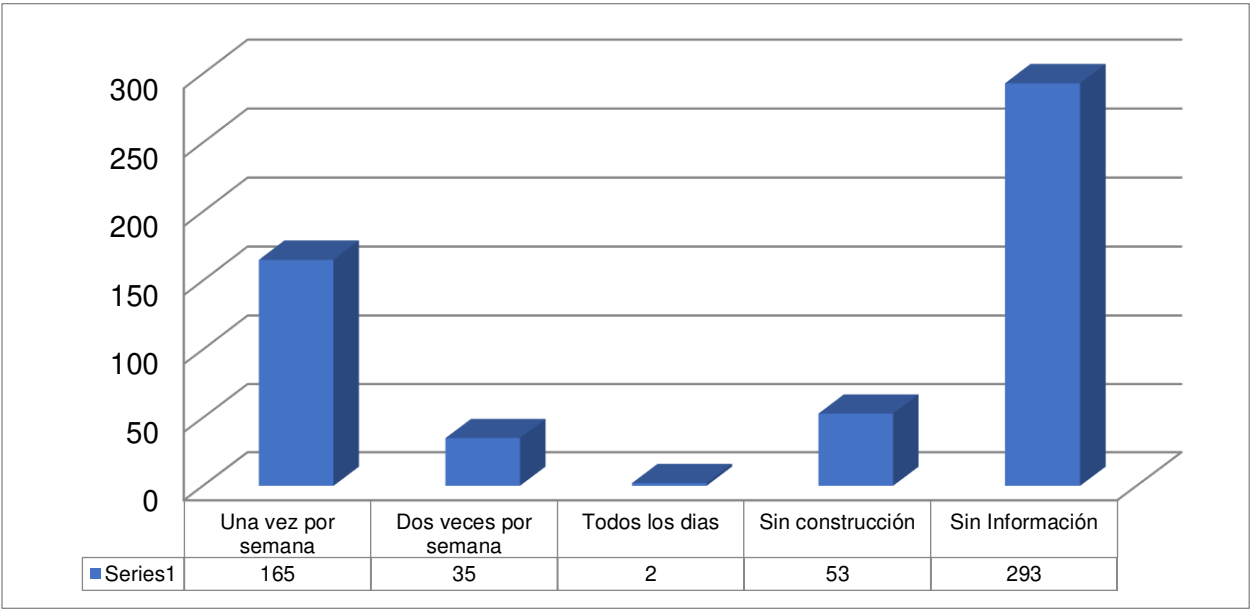


Figura 39. Días de recolección de basura

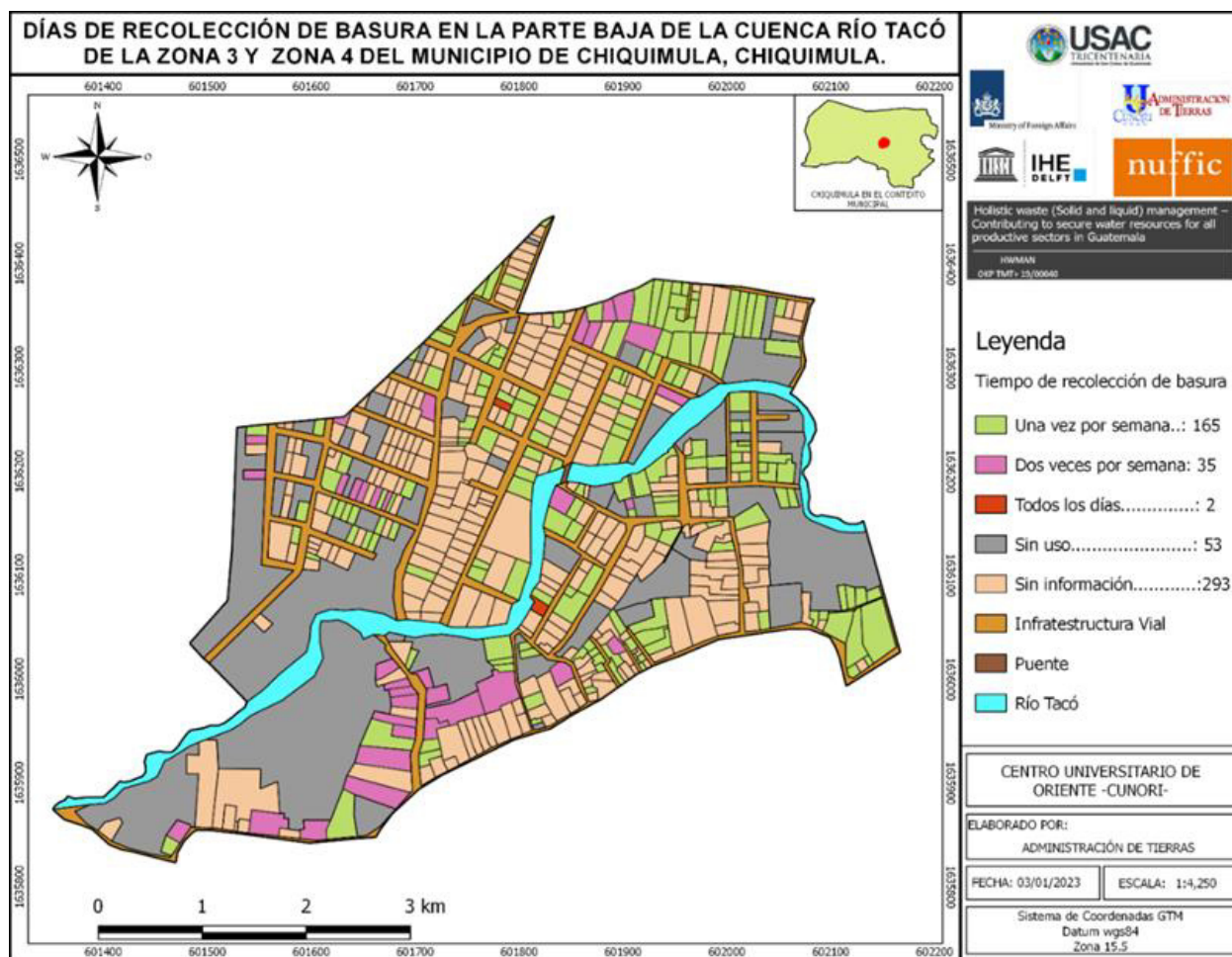


Figura 40. Mapa de días de recolección de basura

6.13 Proceso de desechar la basura por los habitantes

Los habitantes de 38 predios declararon utilizar el camión municipal de recolección de basura (6.93%), 112 predios declararon utilizar servicios privados (20.44%), en 24 predios sus habitantes queman los desechos (4.38%); en 22 los desechos son trasladados sobre la corriente al río Tacó, ocasionando contaminación directa, (4.01%); en 7 predios la basura la entierran, ya sean desechos orgánicos como inorgánicos (1.28%). Las figuras 41 y 42 ilustran los hallazgos.

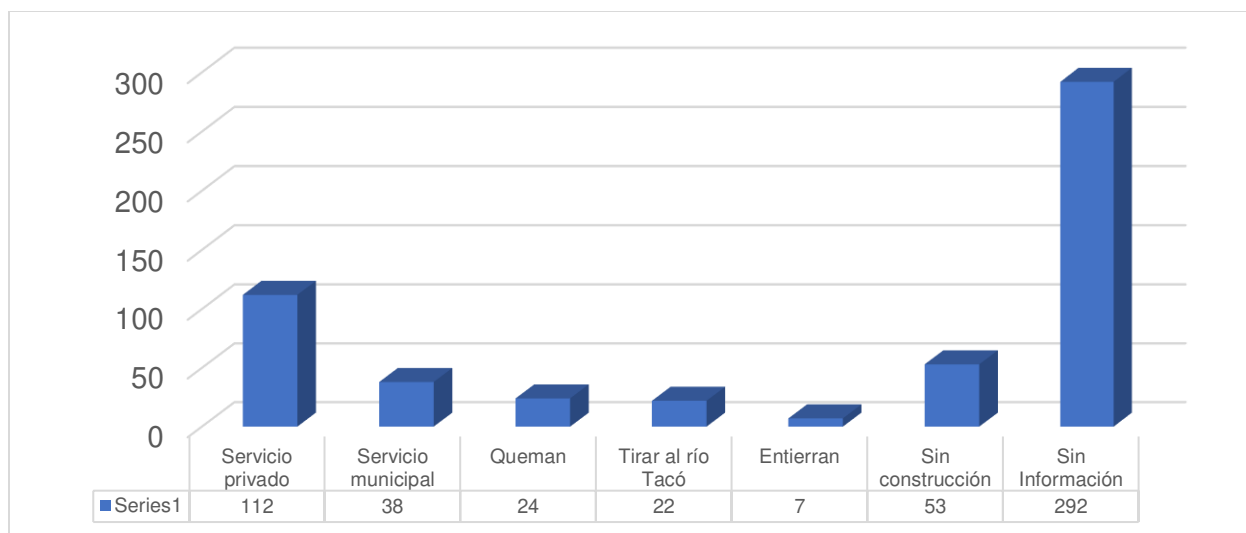


Figura 41. Proceso de desechar la basura

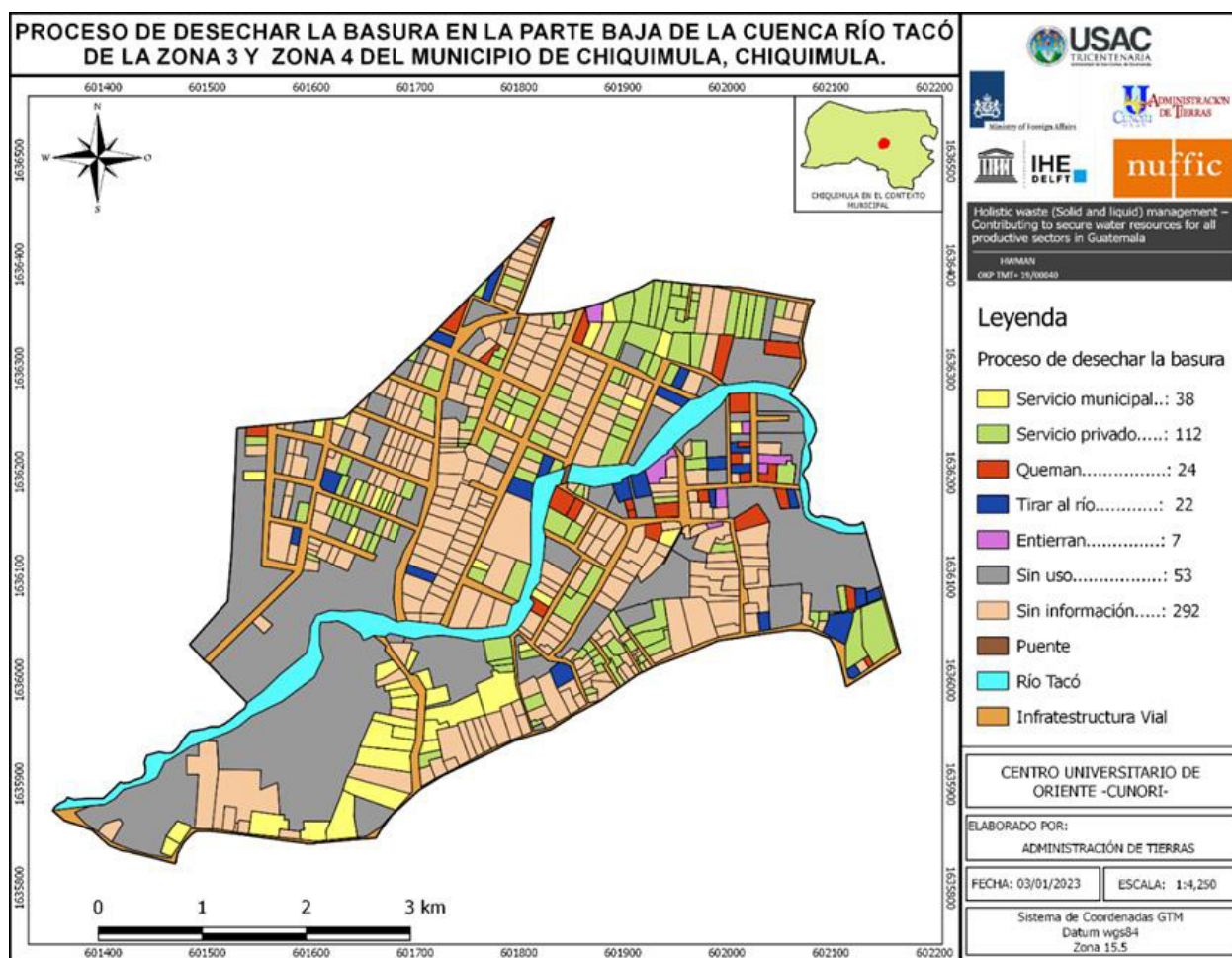


Figura 42. Mapa de las formas de deshacerse de la basura

6.14 Viviendas con servicio de drenaje

Otro de los factores de contaminación es el tratamiento que se le da a las aguas servidas, si la población no cuenta con el servicio de drenaje, los desechos son enviados al río Tacó, contaminándolo directamente y creando un ambiente insalubre para la población en general.

Se refleja un resultado en las figuras 43 y 44, en las que se demuestran que de 146 predios en los que los habitantes declararon contar con servicio de drenaje (26.64%) y 58 predios en los que expresaron no contar con servicio de drenaje (10.58%).

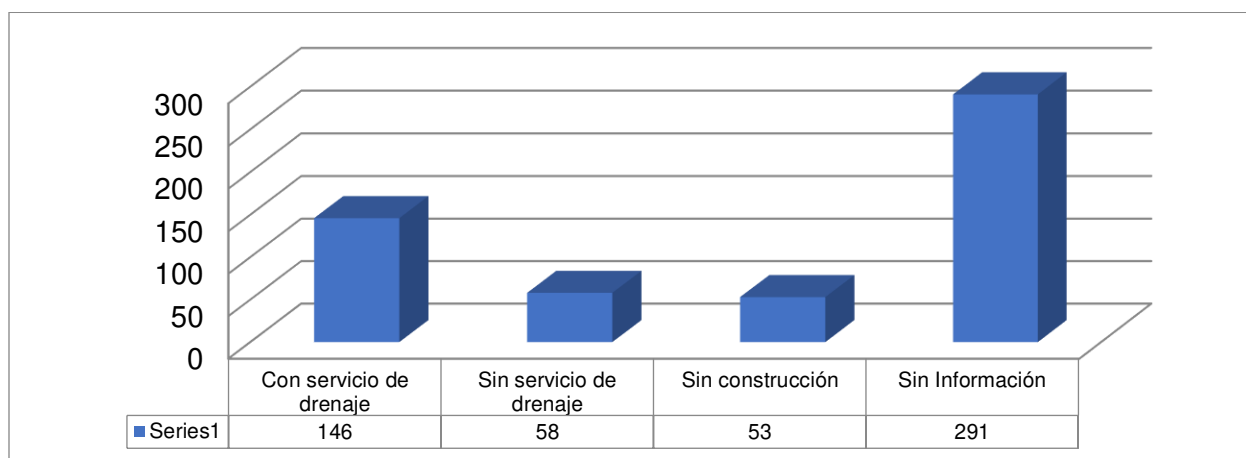


Figura 43. Cantidad de viviendas con servicio de drenaje

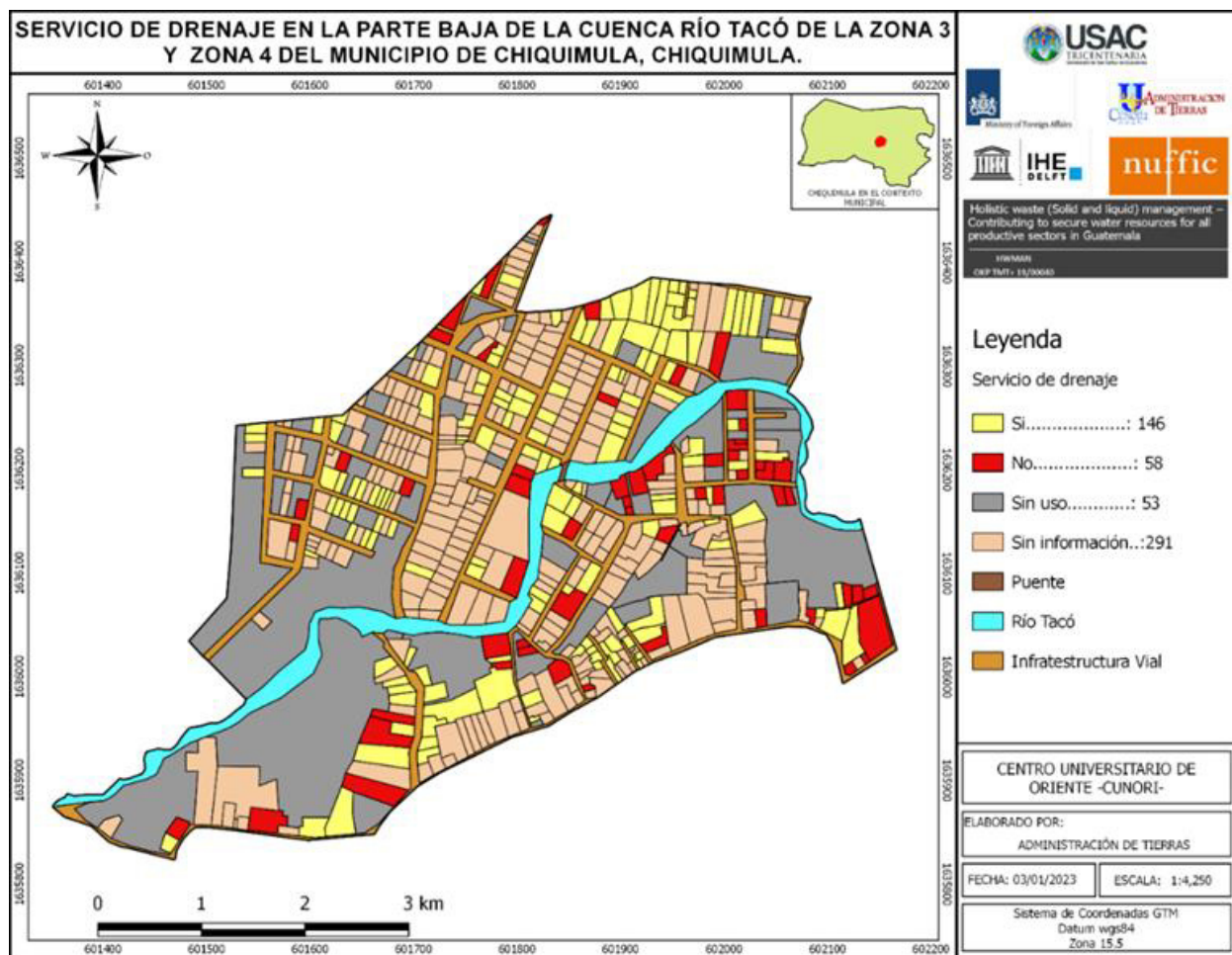


Figura 44. Mapa de viviendas con servicios de drenaje

6.15 Puntos de control

Se establecieron 26 puntos de control que permitieron orientar y ajustar las fotografías tomadas por el vehículo aéreo no tripulado al momento del posproceso, obteniendo como resultados un archivo raster ortofotomosaico que permitió analizar con mayor precisión la topografía del área en estudio. Dicho ortomosaico se presenta en la figura 45.

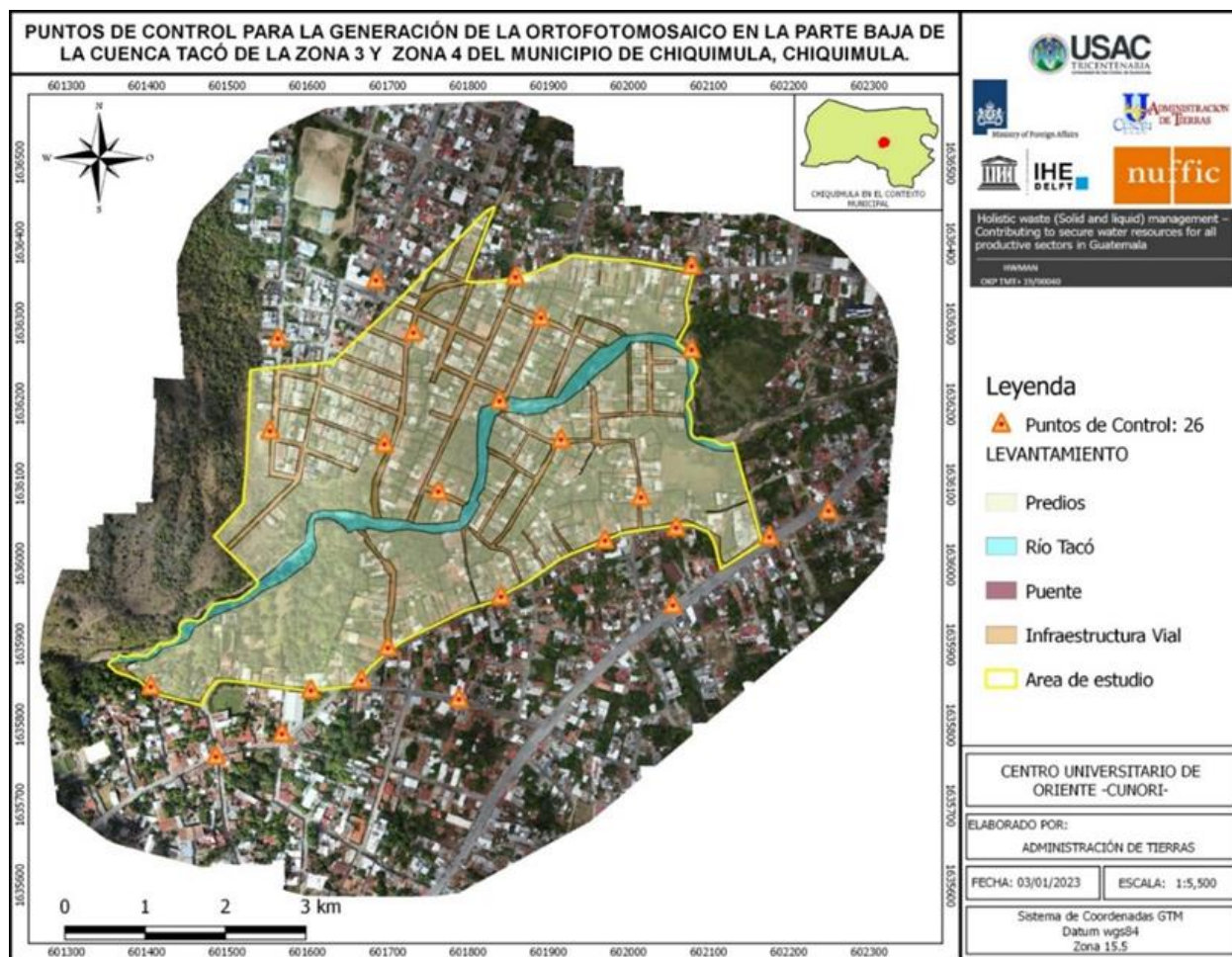


Figura 45. Mapa de puntos de control y generación de la ortofotomosaico

6.16 Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación del área en estudio generado con las fotografías aéreas permite analizar las diferentes características de elevación con su respectiva clasificación por rangos, con una elección mínima de 445 metros y elevación mayor de 475 metros, tomando en consideración la elevación de la vegetación, construcción y otros. En la figura 46 se presenta el mapa del modelo digital de elevación.

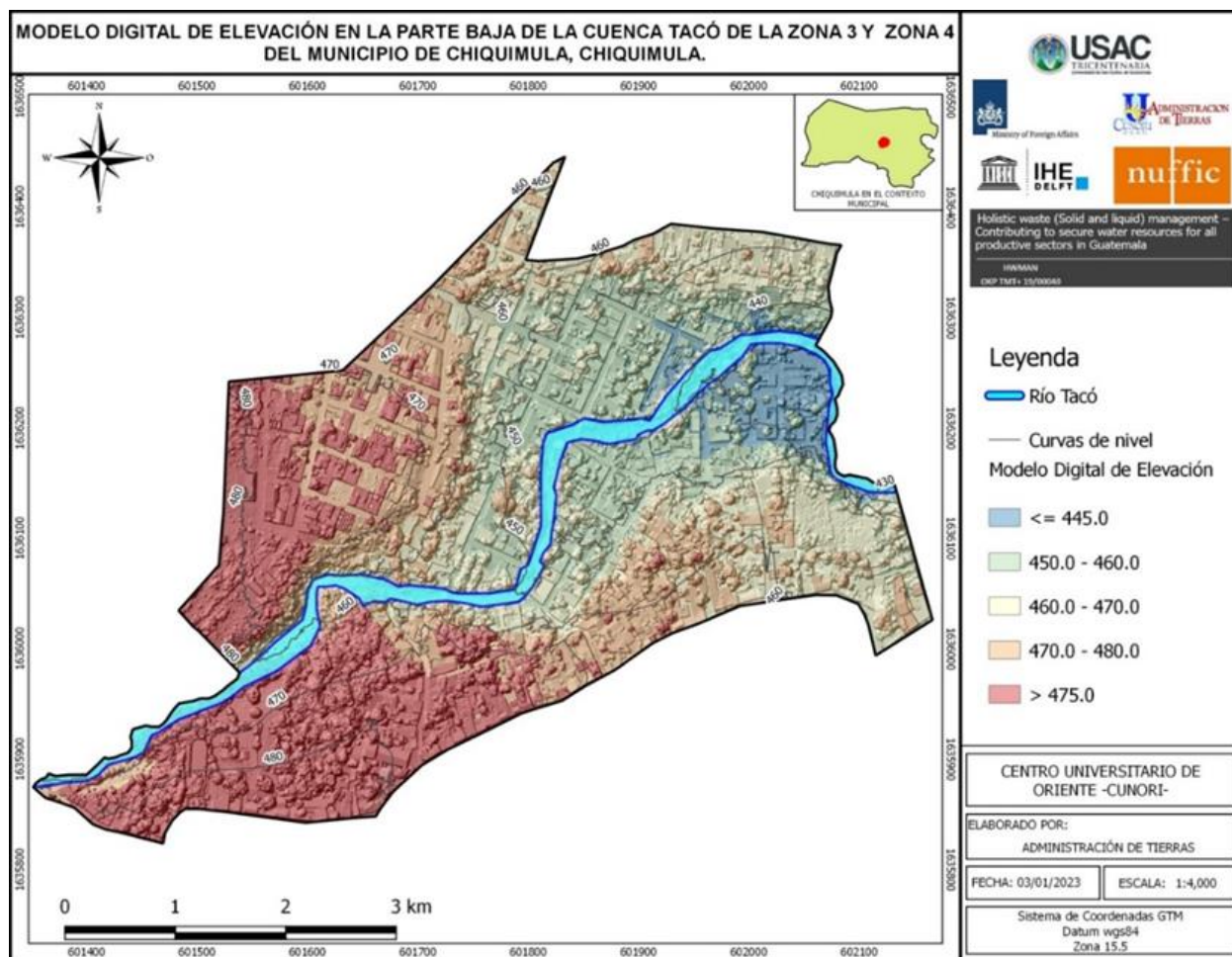


Figura 46. Mapa de modelo digital de elevación

6.17 Modelo Digital del Terreno

El modelo digital del terreno y las curvas a nivel generados con las fotografías aéreas, permiten analizar la topografía del área de estudio, clasificando por rangos de elevación. La elevación de menor rango apreciado en el mapa es de 435 metros y el rango de mayor elevación apreciado en el mapa es de 480 metros. El procesamiento del MDT no toma en consideración los pixeles de vegetación y construcción, únicamente la elevación de la superficie del terreno. Para ilustrarlo se presenta el mapa de modelo digital del terreno en la figura 47.

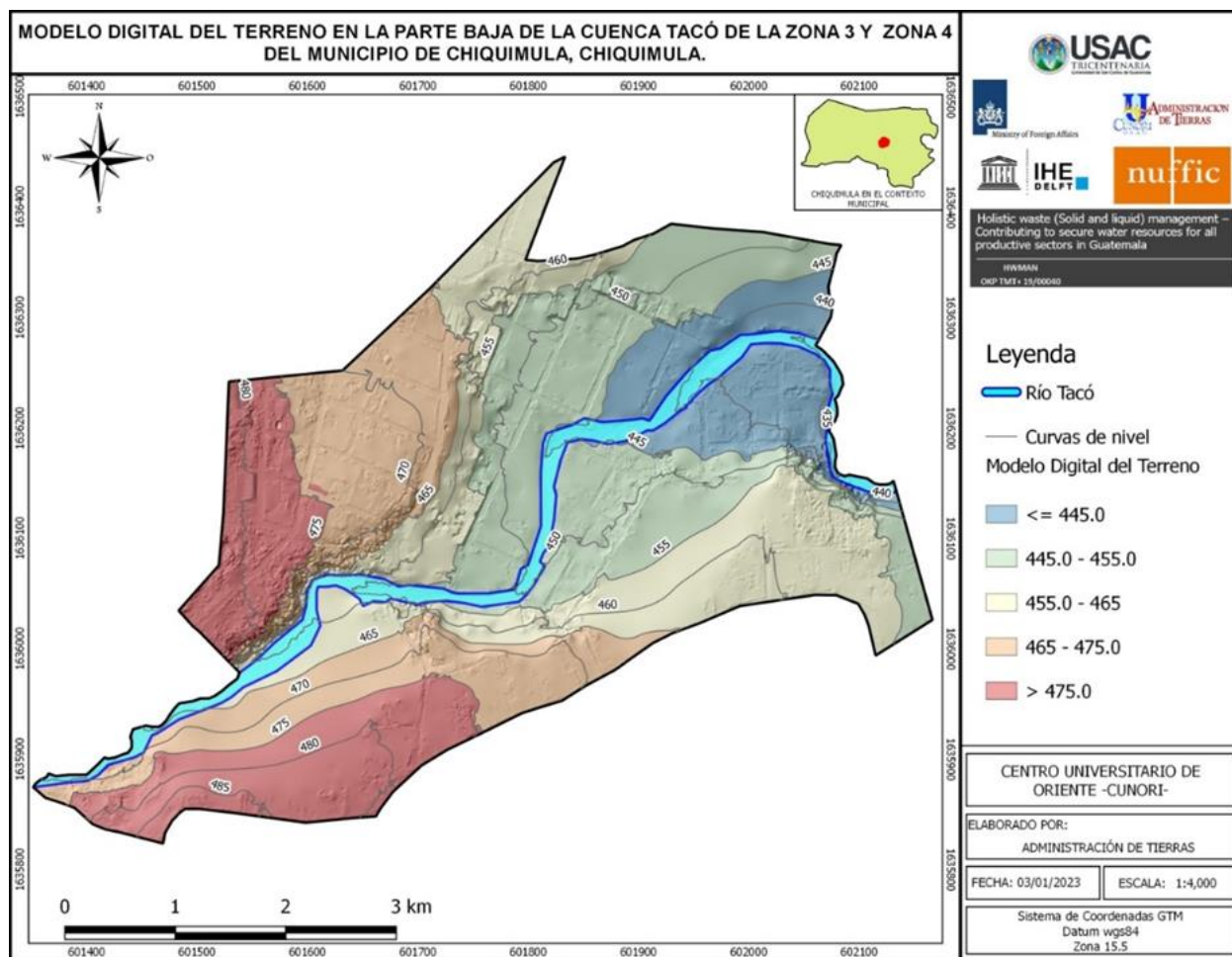


Figura 47. Mapa de modelo digital del terreno

6.18 Sitios de contaminación

El medioambiente y los recursos naturales se ven influenciados y modificados por una serie de factores, entre ellos están: los vertederos de basura no autorizados, la pobreza y desigualdad, el crecimiento económico y el comercio; estos factores desencadenan una serie de impactos que afectan el estado del ambiente y el patrimonio natural, que a su vez afectan el bienestar de la sociedad y el sistema económico.

Como se muestra en la figura 48, en el área de estudio se identificaron 29 puntos de contaminación que afectan al río Tacó, los cuales se clasificaron en 3 categorías:

- a. **Desechos sólidos inorgánicos:** se localizaron 24 puntos de contaminación.
- b. **Aguas residuales:** 3 puntos de contaminación.
- c. **Desechos materiales de construcción:** se localizaron 2 puntos de contaminación.

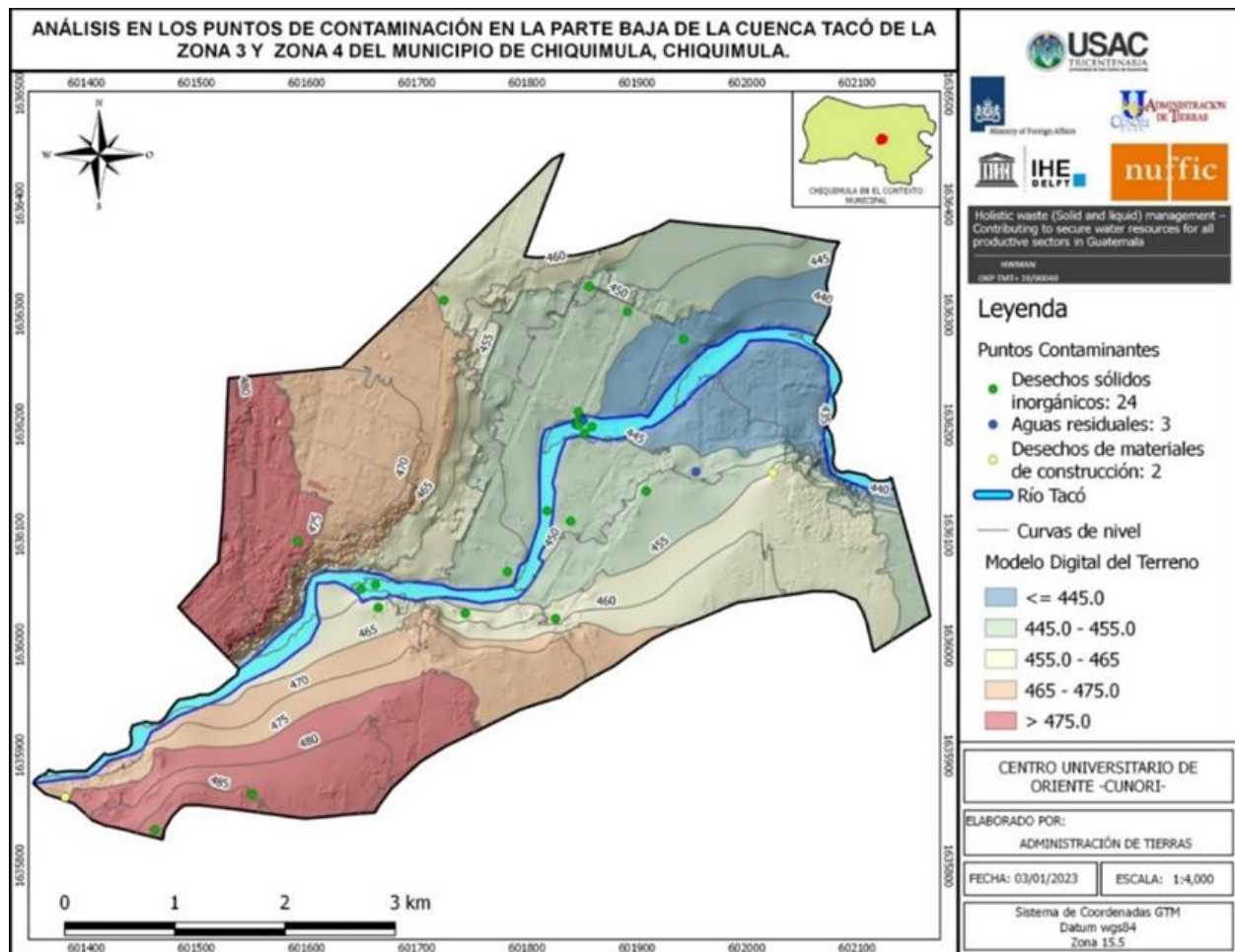


Figura 48. Mapa de sitios de contaminación en el área de estudio

Se analizó la topografía en el área de estudio determinando que la microcuenca de la parte baja del río Tacó se encuentra con una elevación de 435 metros y en el área más alta se identifica una elevación de 485 metros.

Los puntos de contaminación se encuentran ubicados geográficamente igual o mayor elevación que se encuentra la microcuenca del río Tacó, por lo tanto, en época de invierno la corriente de agua arrastra los desechos sólidos inorgánicos hasta el río, ocasionando la contaminación de este.

6.19 Foro de regularización

Se realizó la actividad del foro de regularización en forma presencial y virtual en las instalaciones del Centro Universitario de Oriente -CUNORI- con el objetivo de presentar a la población chiquimulteca el estado actual de la microcuenca del río Tacó, detallando la preocupación del recurso hídrico que está siendo afectado por la contaminación de desechos sólidos, vertederos no autorizados y aguas servidas. Además, se incidió en cómo la contaminación no solo afecta visualmente sino a la salud de las personas y animales.

Se recalcó la gran importancia de establecer una planta de tratamiento en la parte baja de la microcuenca del río Tacó para mitigar la contaminación actual. Aunque, cabe resaltar, que los funcionarios del gobierno local no asistieron al foro para establecer un diálogo social y participativo con la comunidad y establecer mejoras para la gestión del desarrollo urbanístico del territorio y alcanzar una buena gobernanza.

6.20 Muestras de agua

Se tomaron 7 muestras de agua de las cuales 5 fueron distribuidas estratégicamente en la parte baja de la microcuenca del río Tacó y 2 fueron tomadas en la planta de tratamiento, con el objetivo de determinar el Índice de Calidad del Agua -ICA-

En la figura 49 se visualiza el orden en que fueron tomadas las muestras de agua; factor fundamental para determinar la temperatura de la muestra de agua de acuerdo con el horario que se recolectó.



Figura 49. Muestras de agua del río Tacó

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la muestra de agua en el laboratorio.

Tabla 10. Resultados de la muestra de agua en el laboratorio

1	Agua de	CHIQ-22-2	Salida Planta (sin cloración)	14°47'28.13"N	89°33'31.14"O
2	consumo	CHIQ-22-3	Salida Planta (con cloración)	14°47'28.16"N	89°33'31.28"O

	pH	Temperatura	Conductividad	SDT	OD	ORP
HORA	log	°C	us/cm	mg/L	mg/L	mV
10:10	7.36	24.6	425.4	281.5	9.17	210
10:23	7.85	25.2	392.6	258.8	9.35	197

Coliformes Fecales	Turbidez	Color Aparente	Nitrato	Fosfato
UFC/100 mL	FAU	UPC	mg/L	mg/L
2.42E+03	7	40	1.1	0
0.00E+00	0	0	0.8	0.8

DQO	DBO	FT	NT	Turbidez
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UNT
10	0	0.21	0	3.1
0	0	0.15	0	0.3

ORDEN	MUESTRA	MUESTRA	PUNTO	LATITUD	LONGITUD	DISTAN CIA A PUNTO PREVIO	ESTA- CIÓN	ELEVA- CIÓN	PEN DIEN TE	HORA
1		CHIQ-22-1	Captación	14°47'30.0 2"N	89°33'52.44 "O		0	519		09:26
2		CHIQ-22-7	Valle Nuevo	14°47'39.9 8"N	89°33'13.14 "O	1396	1396	457	4.44 %	13:05
3	Río Tacó	CHIQ-22-4	Colonia Maestro/Ce menterio	14°47'38.2 6"N	89°32'29.62 "O	1769	3165	400	3.22 %	10:56
4		CHIQ-22-5	INTECAP	14°47'40.3 7"N	89°32'3.69" O	911	4076	372	3.07 %	11:27
5		CHIQ-22-6	Desfogue	14°47'23.6 1"N	89°31'50.98 "O	734	4810	352	2.72 %	12:13

pH	Tempe- ratura	Conduc- tividad	SDT	OD	OR P	Coliformes Fecales	Turbi- dez	Color Aparente	Nitra- to	Fosfa- to
log	°C	us/cm	mg/ L	mg/ L	mV	UFC/100 mL	FAU	UPC	mg/ L	mg/L
7.0			254.	8.0						
5	23.9	385	2	4	225	5.30E+04	48	401	0.4	0.4
8.3			250.	7.2						
8	28.7	383.7	8	6	158	2.20E+05	149	>500	0.8	0.6
8.2			299.	7.4						
9	26.1	452.7	4	2	168	1.80E+07	39	308	1	2.4
8.2				7.3						
5	27	455.8	301	8	156	2.60E+07	40	267	1.7	1.8
8.2				7.0						
6	29.2	460.3	302	1	145	4.00E+06	32	227	1.1	1

DQO	DBO	FT	NT	Turbidez
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UNT
24	17	2.55	4.5	733
651	450.7	2.15	4.55	397
91	46.2	3.5	7.23	565
154	80.1	4.1	6.29	632
481	336.7	3.1	7.79	278

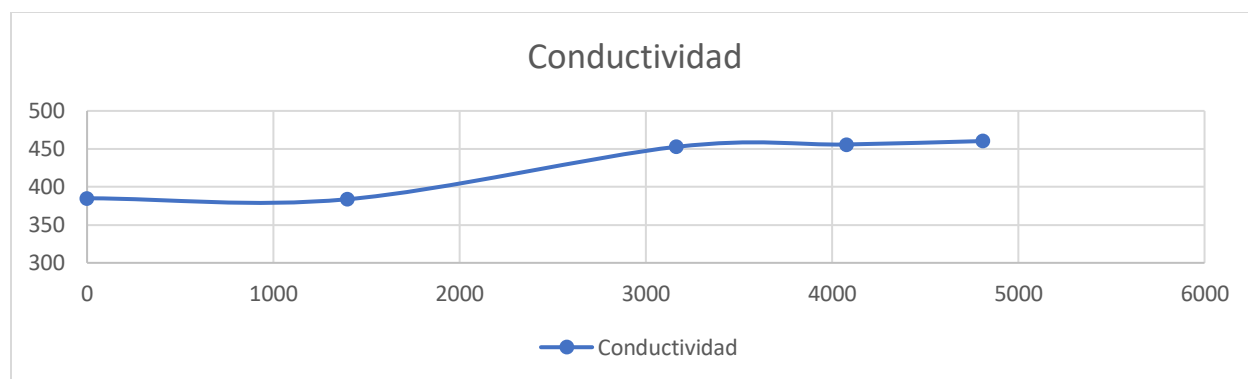


Figura 50. Resultados de la conductividad en la muestra de agua

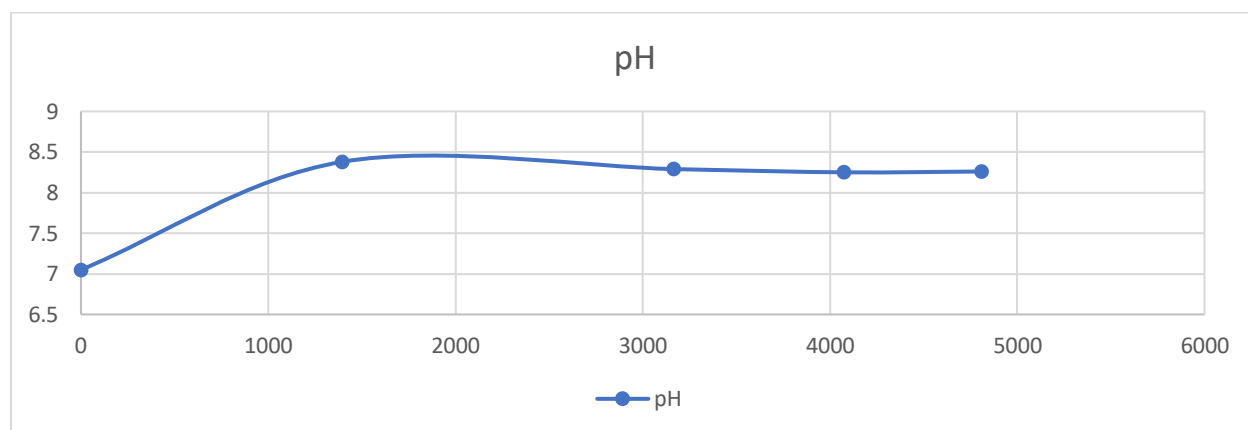


Figura 51. Resultados de pH en la muestra de agua

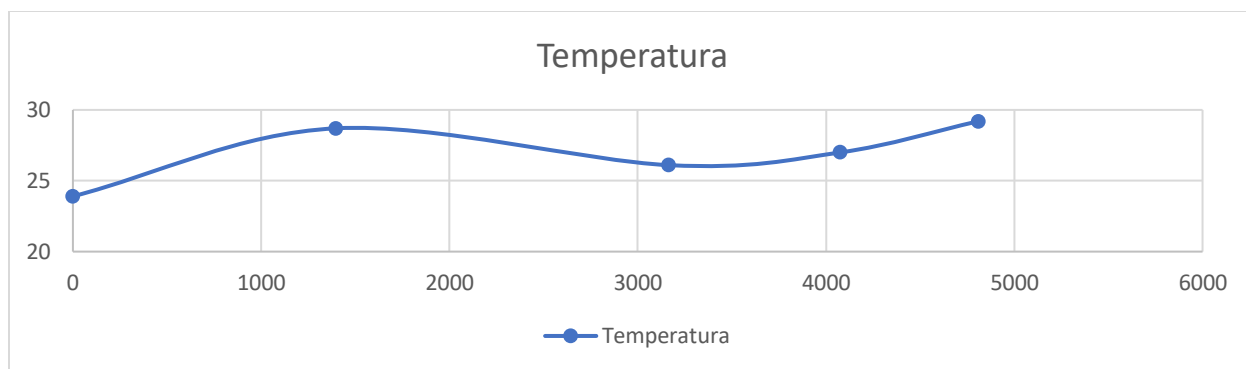


Figura 52. Resultados de la temperatura en la muestra de agua

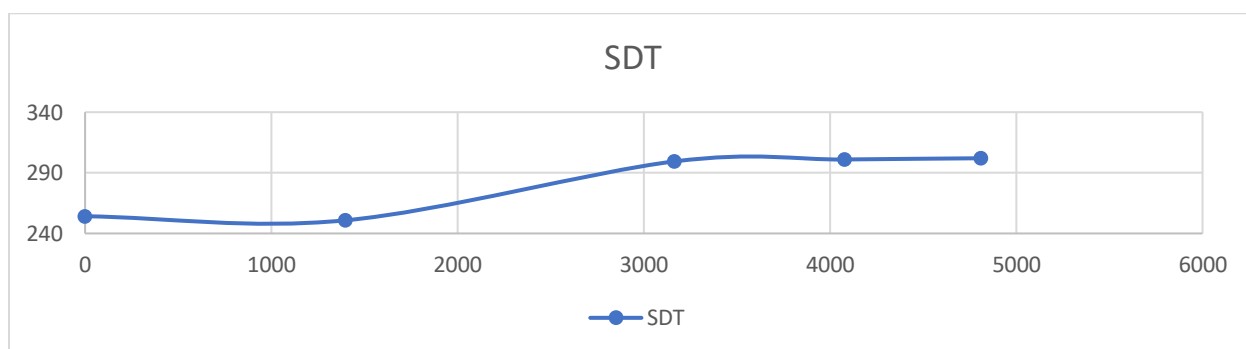


Figura 53. Resultados de los sólidos disueltos totales en la muestra de agua

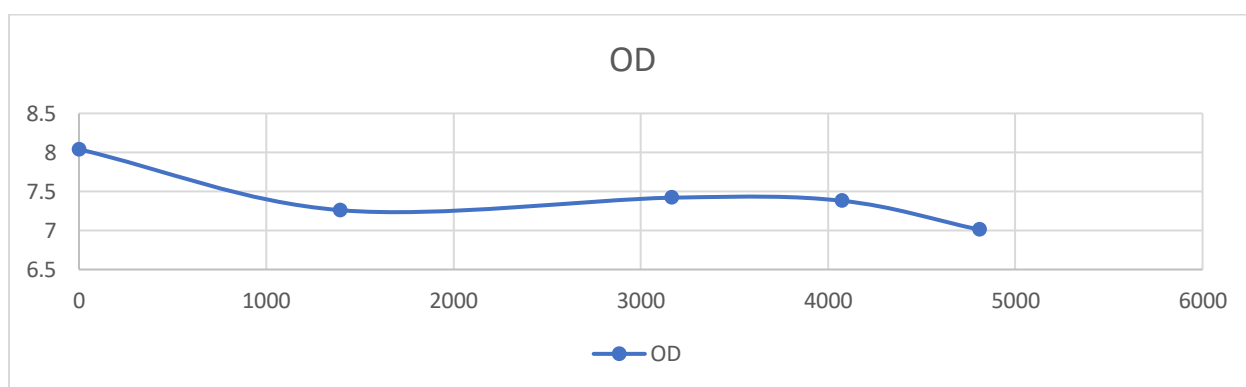


Figura 54. Resultados del oxígeno disuelto en la muestra de agua

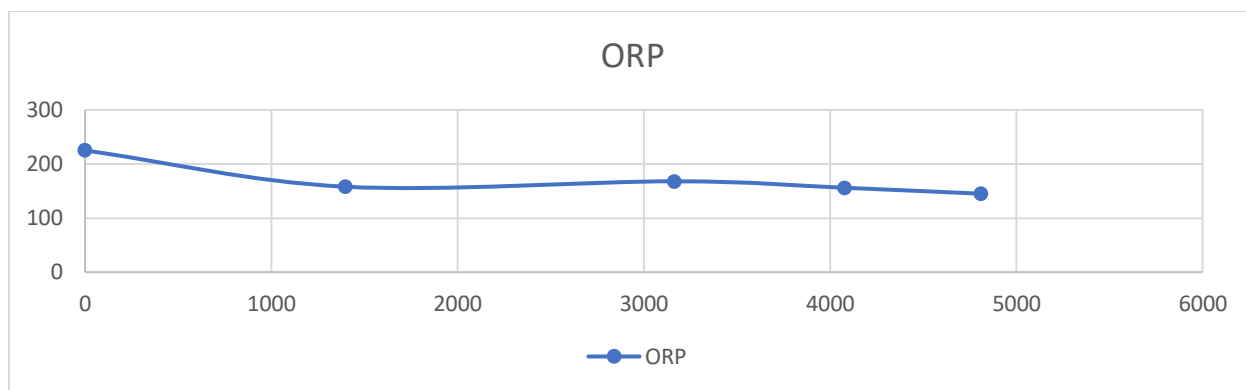


Figura 55. Resultados del ORP en la muestra de agua

6.21 Proceso para determinar el Índice de Calidad del Agua

Coliformes fecales: si son mayores de 100,000 bact/100ml el sub1 es igual a 3; si el valor es menor a 100,00 bact/100ml, se busca el valor en (x) de las figuras 56 a 57 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el Sub1 de Coliformes Fecales, luego se procede a elevarlo al peso w_1 , como se aprecia en la tabla 11.

Tabla 11. Coliformes fecales

PUNTO	Coliformes Fecales	Datos
	UFC/100 mL	
Captación	53,000.00	5.6
Valle Nuevo	220,000.00	3
Colonia Maestro/Cementerio	18,000,000.00	3
INTECAP	26,000,000.00	3
Desfogue	4,000,000.00	3
Salida Planta (sin cloración)	2,420.00	18.84
Salida Planta (con cloración)	0	97.50

COLIFORMES FECALES

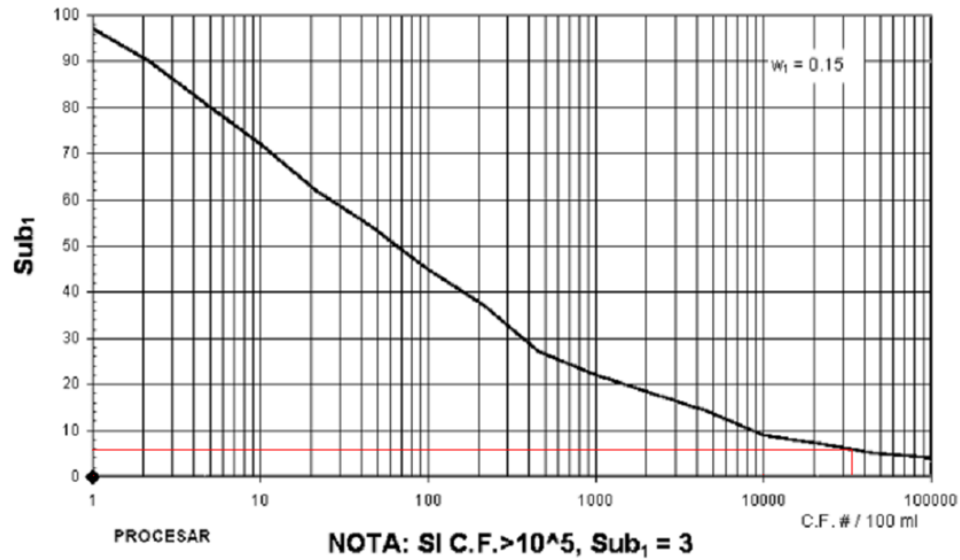


Figura 56. Coliformes fecales en captación

COLIFORMES FECALES

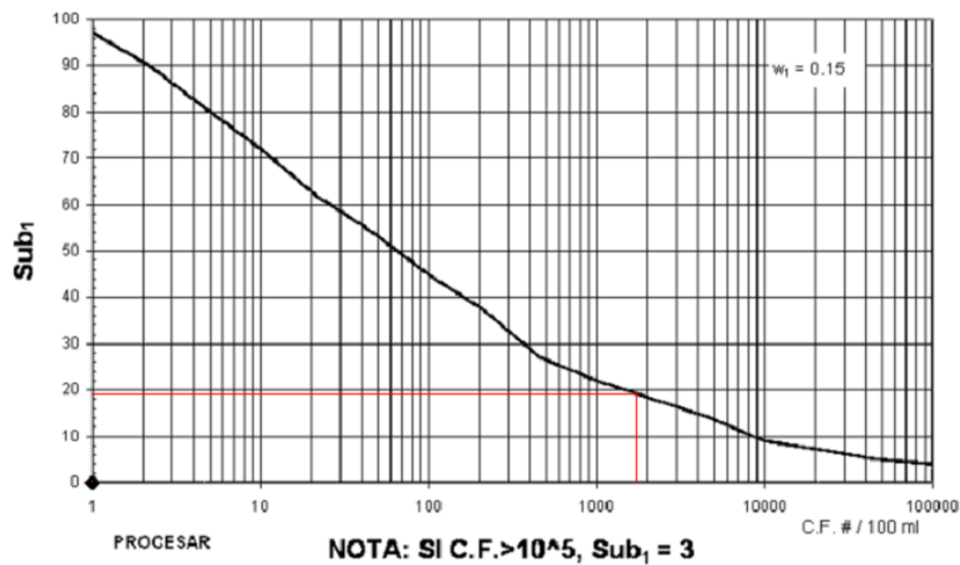


Figura 57. Coliformes fecales en salida planta (sin cloración)

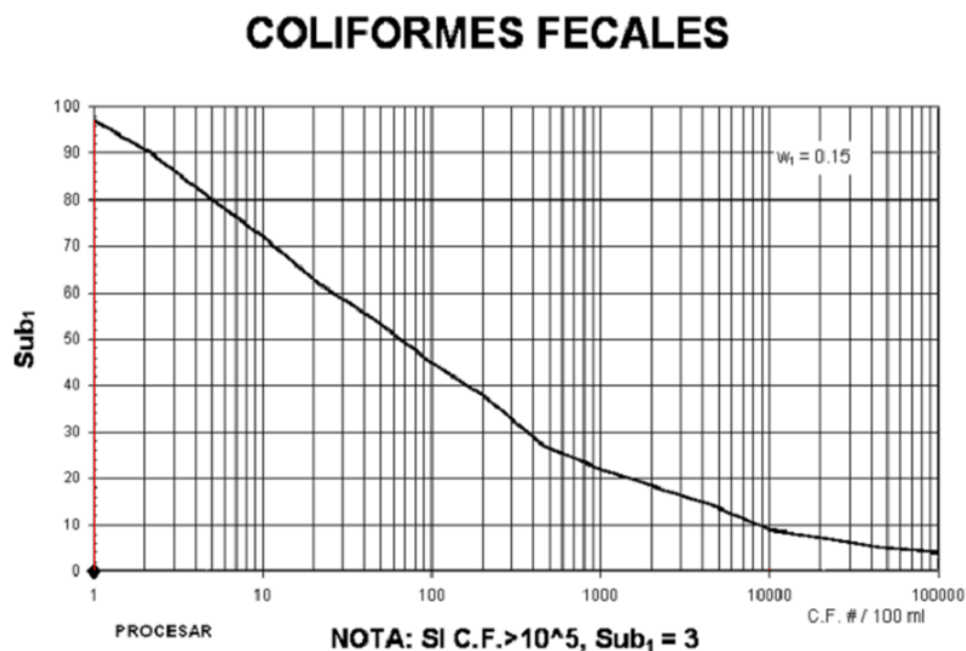


Figura 58. Coliformes fecales en salida planta (con cloración)

6.21.1 PH

Si es igual o menor a 2 el valor es mayor o igual a 10 el Sub2 es igual a 3. Si el valor del pH está entre 2 y 10 se busca el valor en (X) en las figuras 59 a 65 y se interpola en valor en el eje (Y), el valor encontrado en el Sub2 de pH y se procede a elevarlo al peso w_2 , como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. PH

PUNTO	pH log	Datos
Captación	7.05	90.25
Valle Nuevo	8.38	68.62
Colonia	8.29	72.32
Maestro/Cementerio	8.25	74.07
INTECAP	8.26	73.68
Desfogue	7.36	92.81
Salida Planta (sin cloración)	7.85	86.63
Salida Planta (con cloración)		

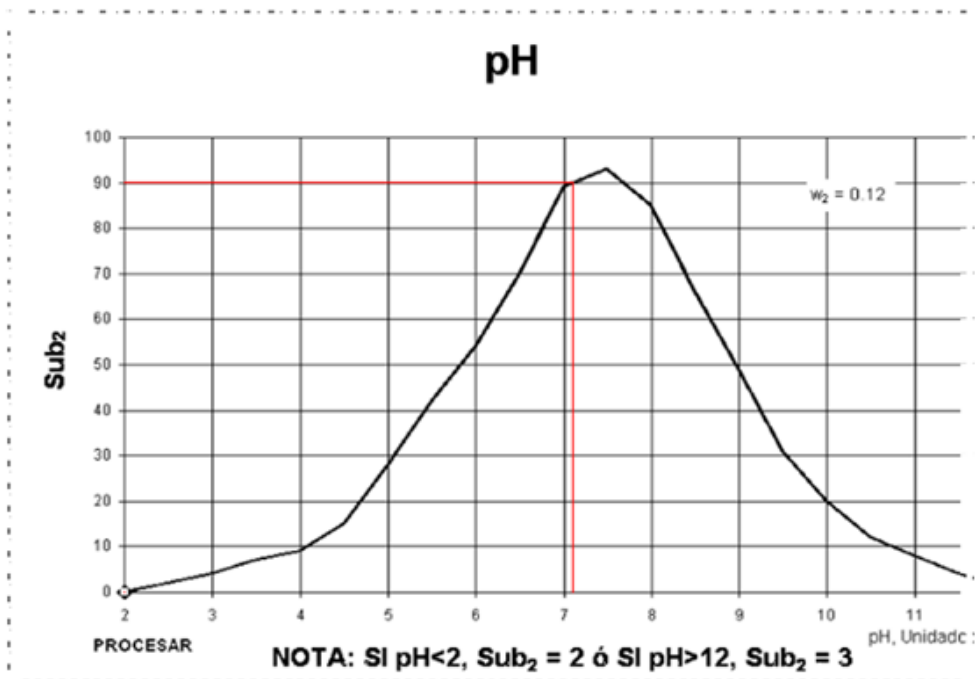


Figura 59. PH en captación

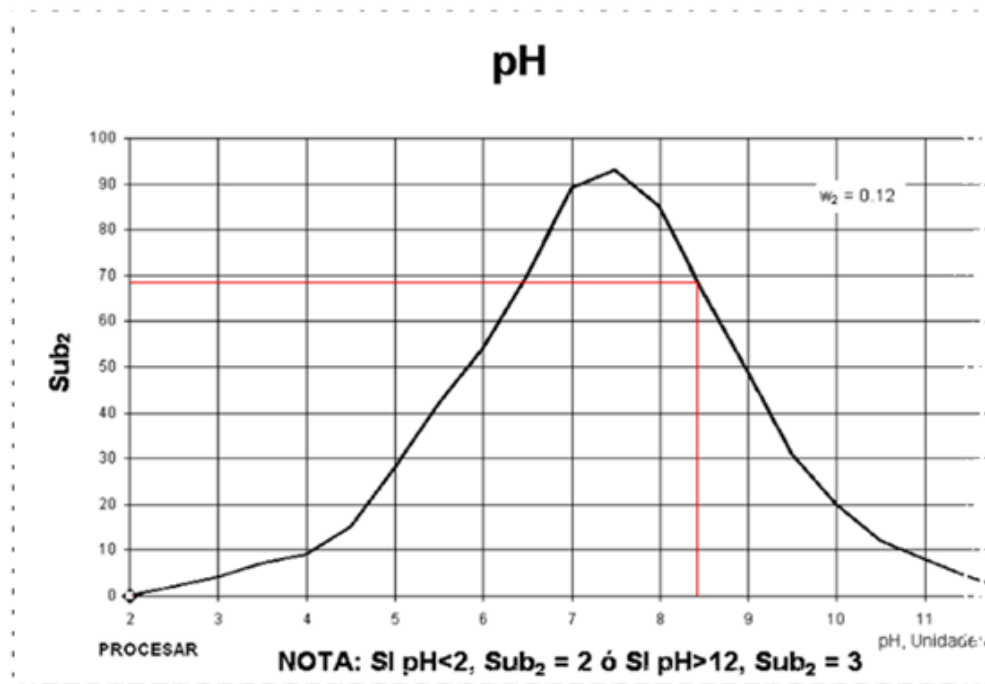


Figura 60. PH en Valle Nuevo

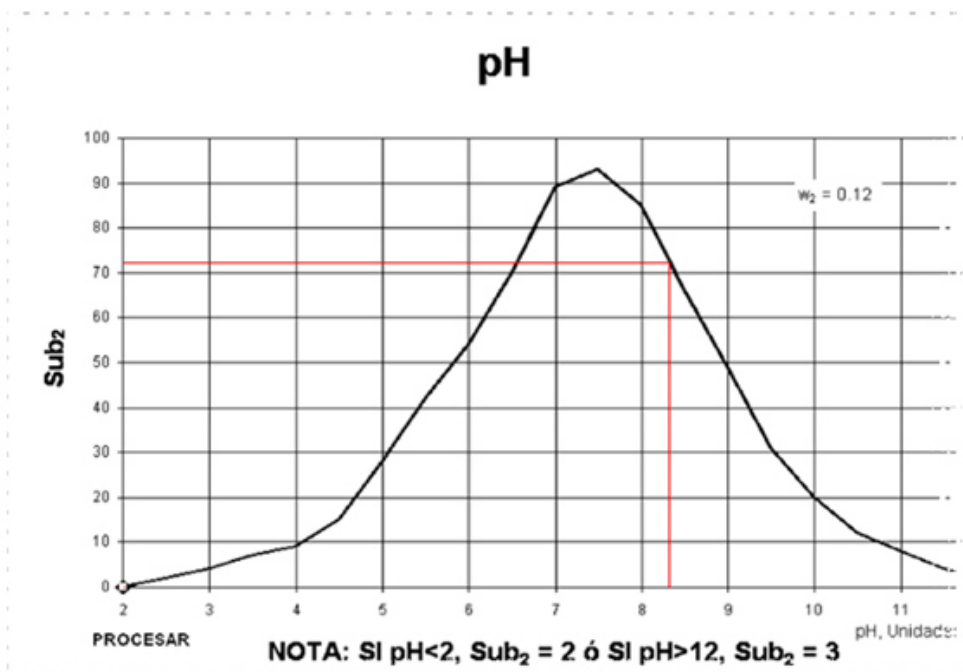


Figura 61. PH en Colonia el Maestro/Cementerio

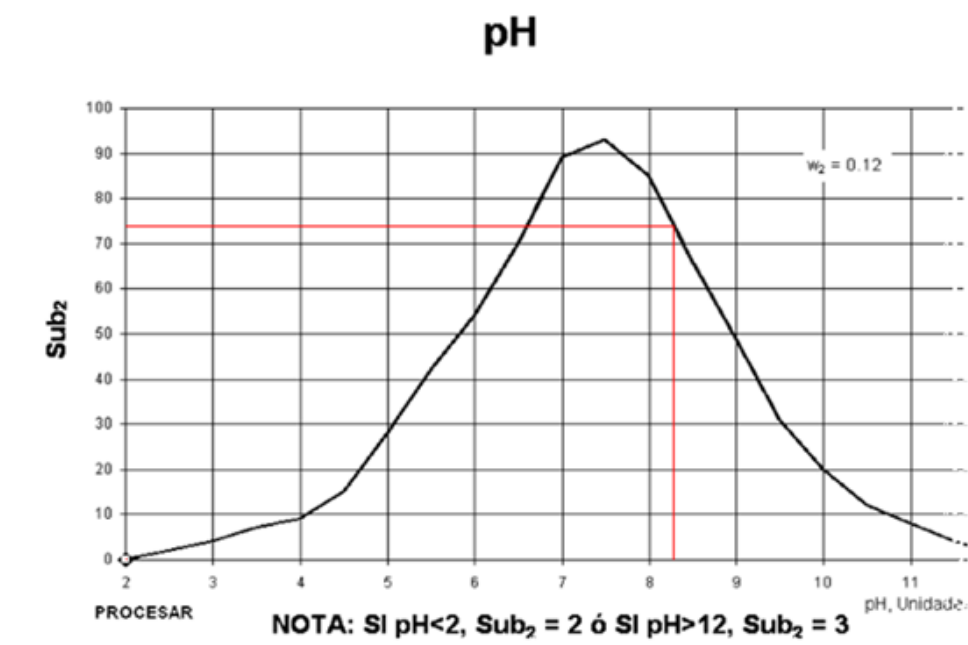


Figura 62. PH en INTECAP

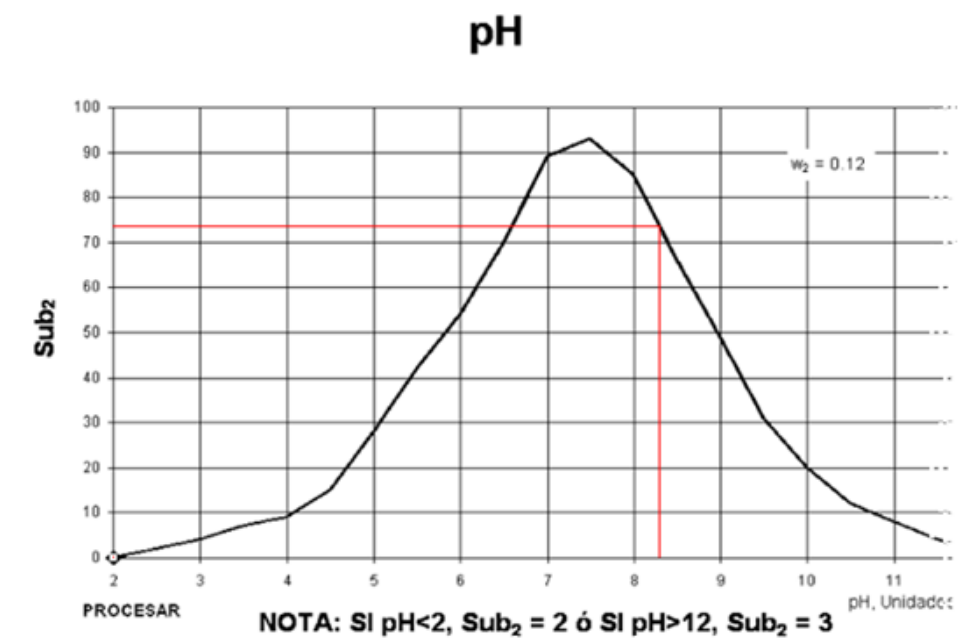


Figura 63. PH en desfogue

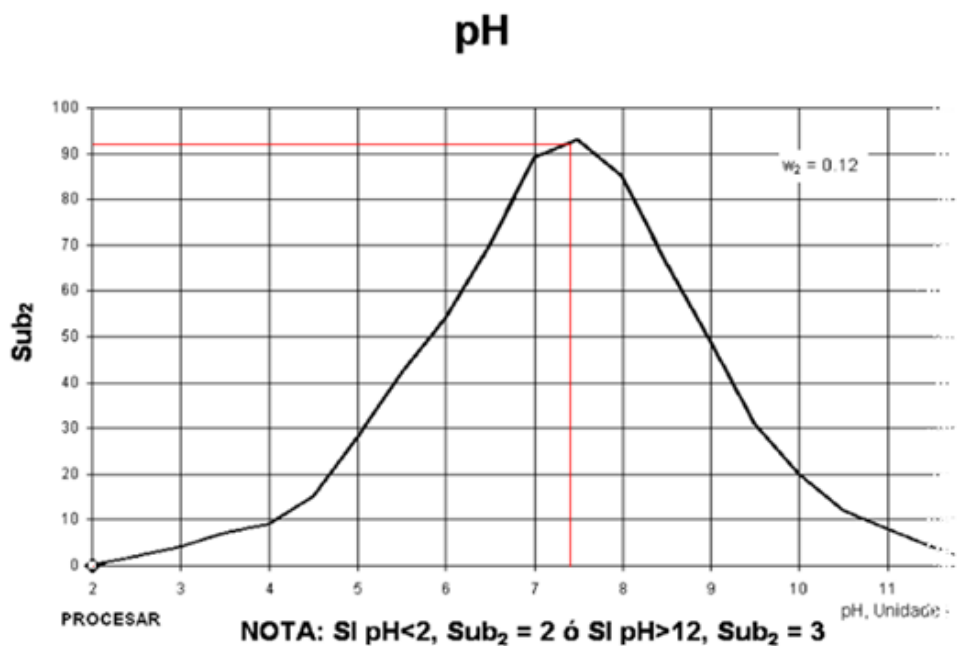


Figura 64. PH en Salida Planta (sin cloración)

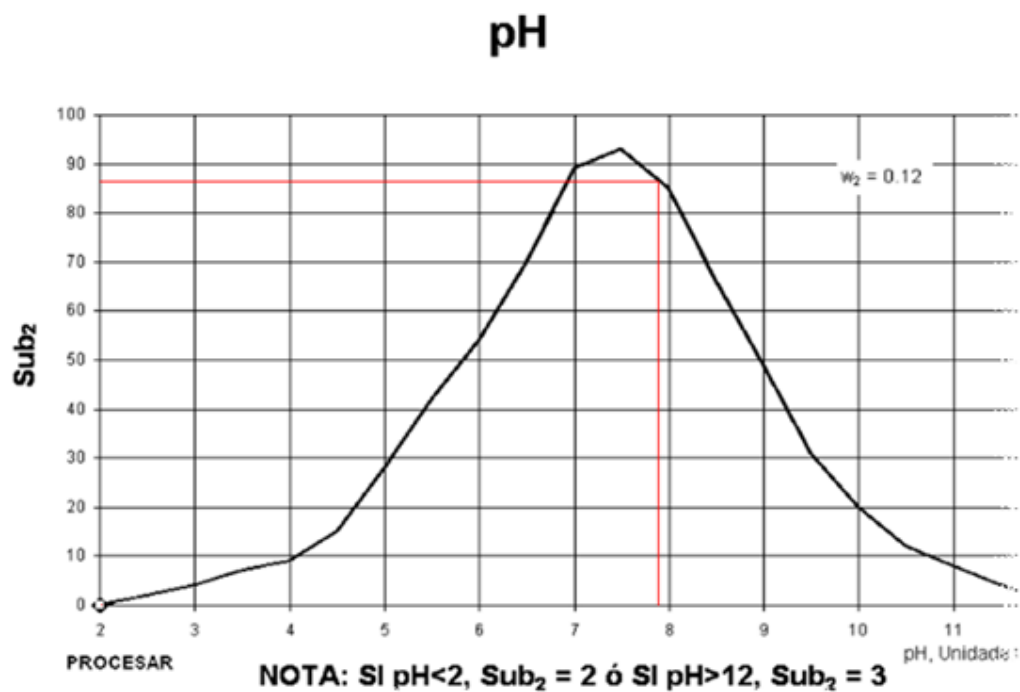


Figura 65. PH en salida planta (con cloración)

6.21.2 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Si es mayor de 30 mg/l el Sub3 es igual a 2, si la DBO es menor de 30 mg/l se busca el valor en el eje de (X) en las figuras 66 a 68 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub3) de DBO y se procede a elevarlo al peso w_3 , como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Demanda biológica de oxígeno

PUNTO	DBO mg/L	Dato
Captación	17	16.72
Valle Nuevo	451	2.00
Colonia Maestro/Cementerio	46.2	2.00
INTECAP	80.1	2.00
Desfogue	337	2.00
Salida Planta (sin cloración)	0.00	97.93
Salida Planta (con cloración)	0.00	97.93

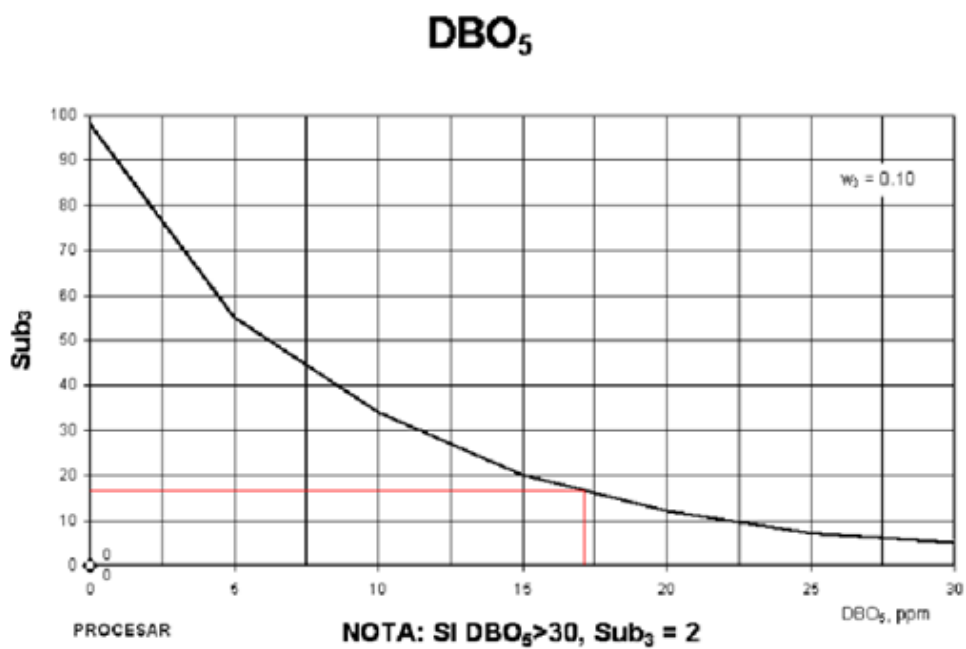


Figura 66. Demanda Biológica de Oxígeno en Captación

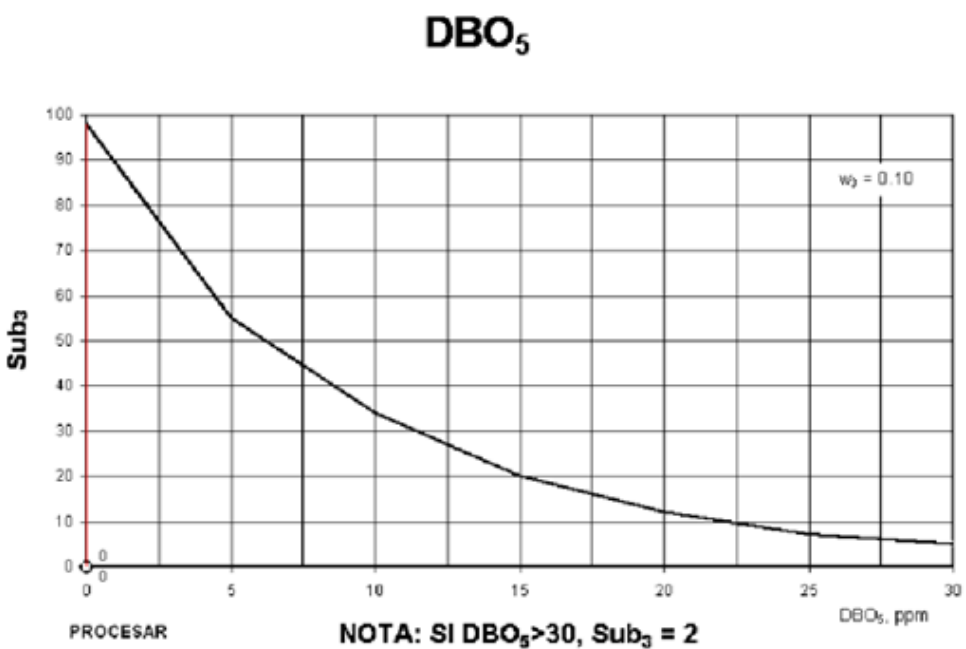


Figura 67. Demanda Biológica de Oxígeno en Salida planta (sin cloración)

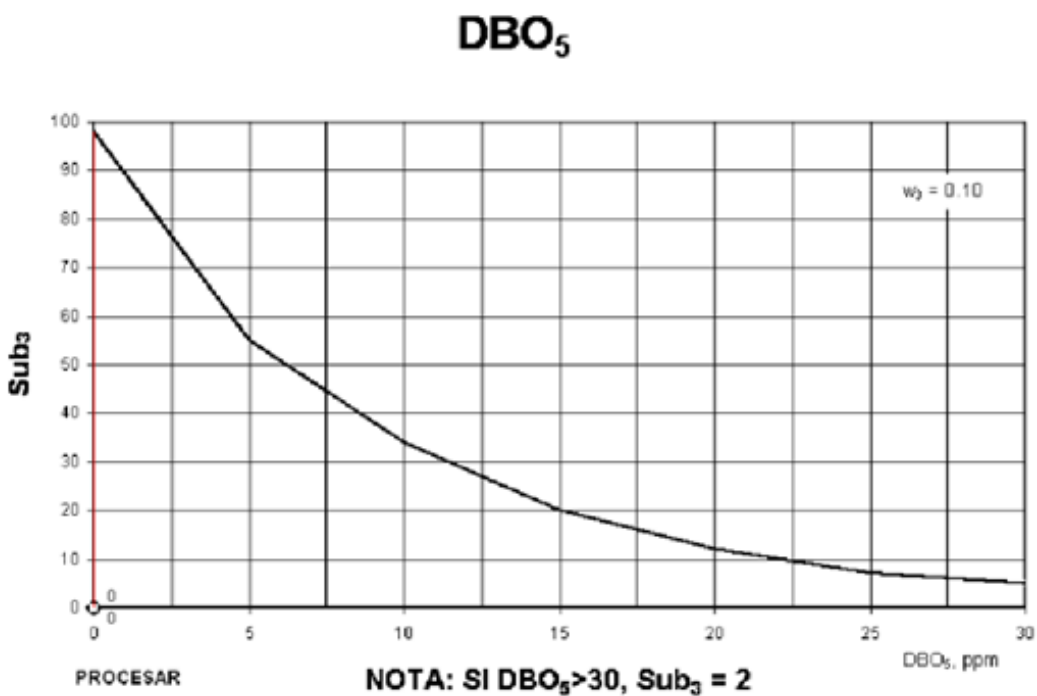


Figura 68. Demanda Biológica de Oxígeno en Salida Planta (con cloración)

6.21.3 Nitratos

Si es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en las figuras 69 a 75 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w_4 , como se aprecia en la tabla 14.

Tabla 14. Nitratos

PUNTO	NT mg/L	Dato
Captación	4.50	76.51
Valle Nuevo	4.55	76.38
Colonia Maestro/Cementerio	7.23	53.55
INTECAP	6.29	67.96
Desfogue	7.79	63.38
Salida Planta (sin cloración)	0.00	97.04
Salida Planta (con cloración)	0.00	97.04

NITRATOS

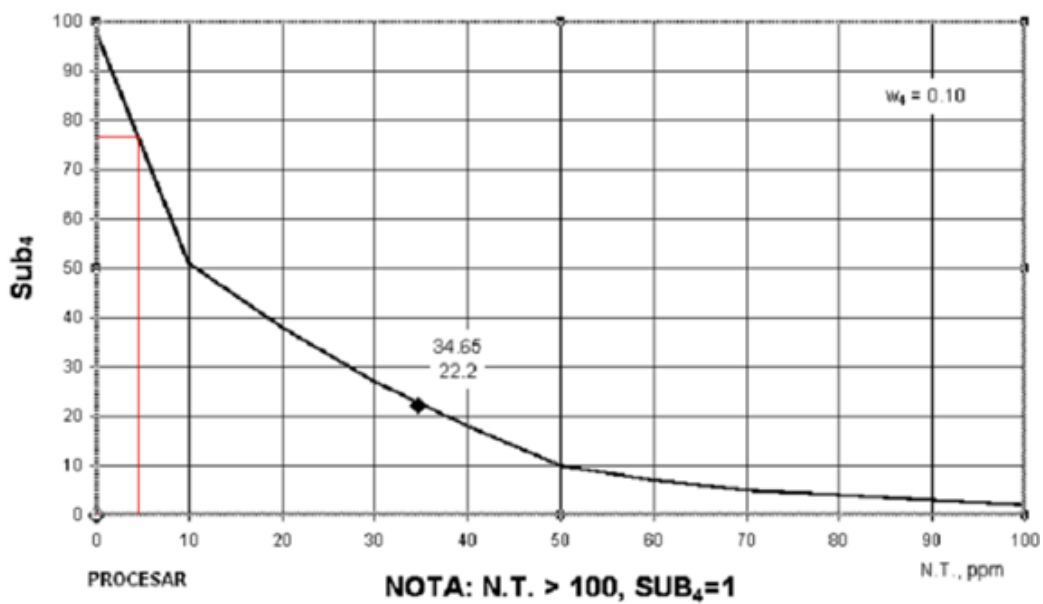


Figura 69. Nitratos en captación

NITRATOS

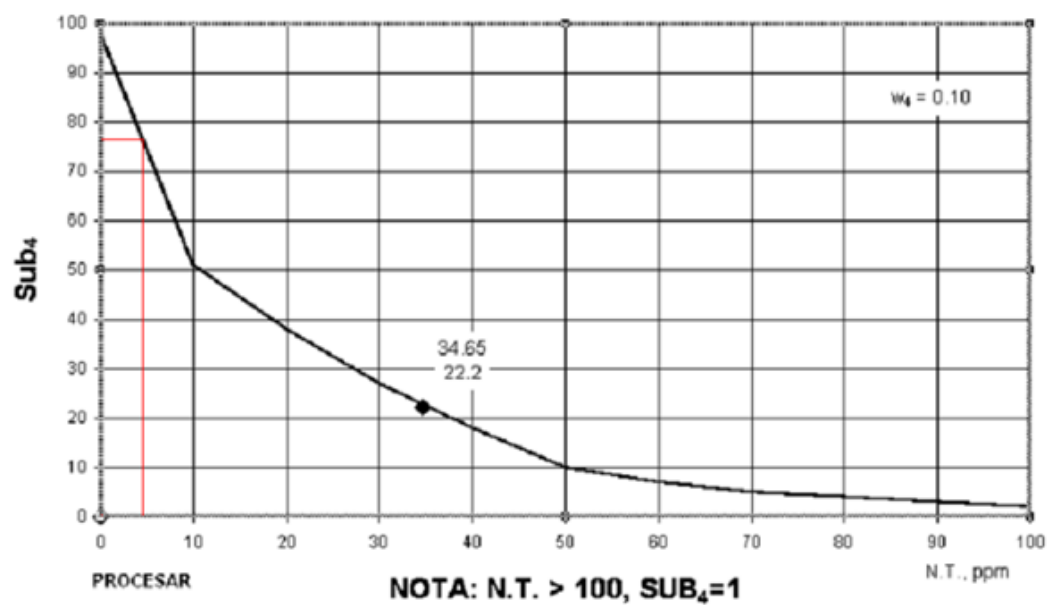


Figura 70. Nitratos en Valle Nuevo

NITRATOS

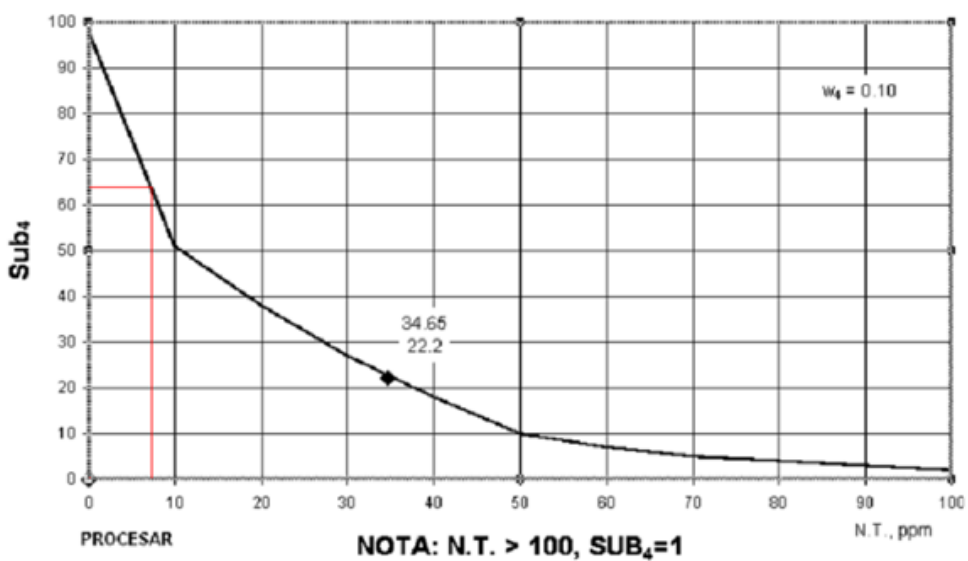


Figura 71. Nitratos en Colonia Maestro/Cementerio

NITRATOS

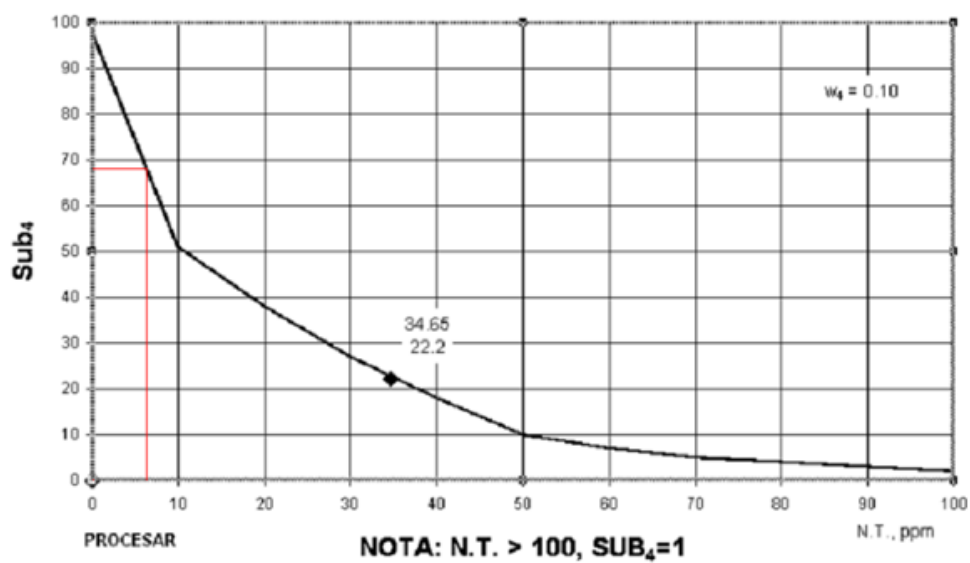


Figura 72. Nitratos en INTECAP

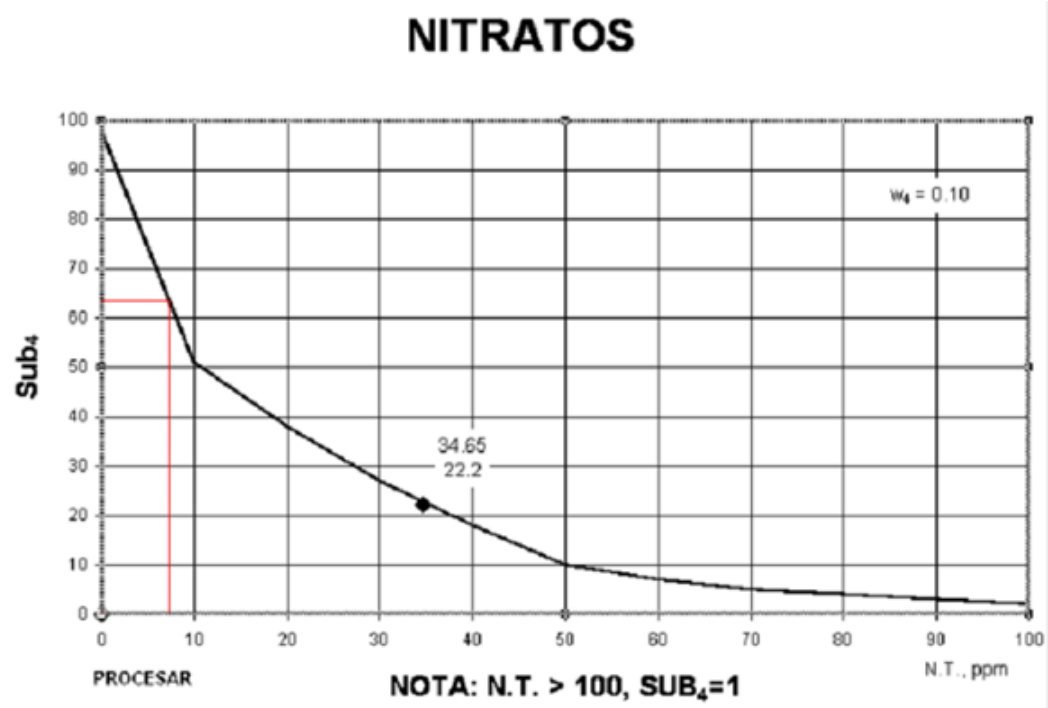


Figura 73. Nitratos en desfogue

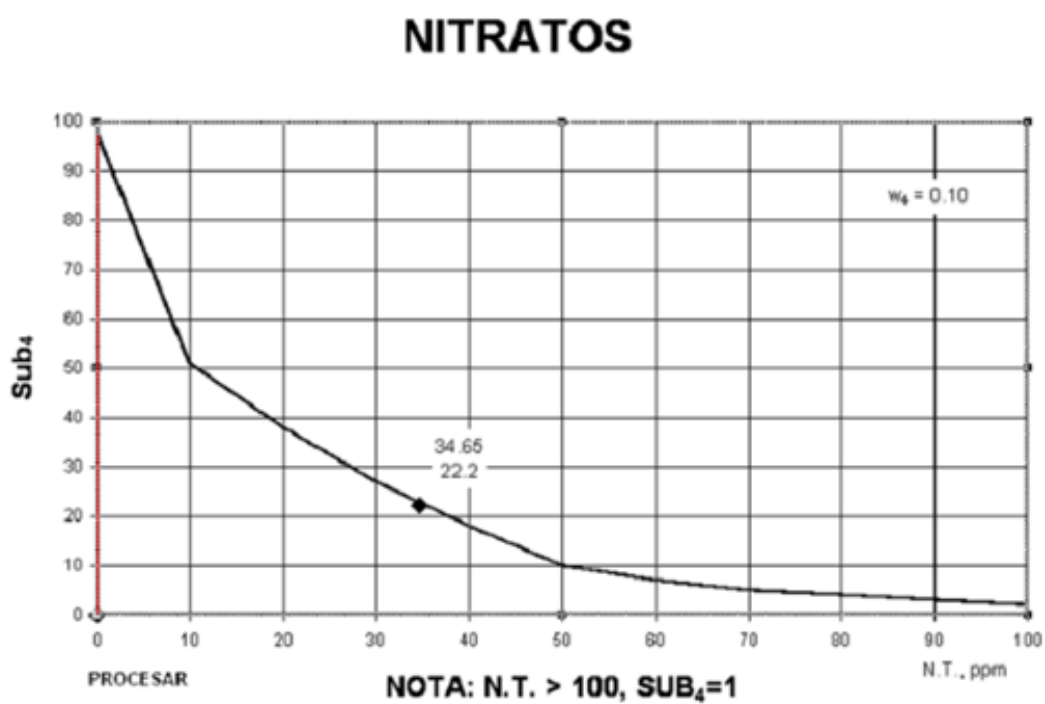


Figura 74. Nitratos en salida planta (sin cloración)

NITRATOS

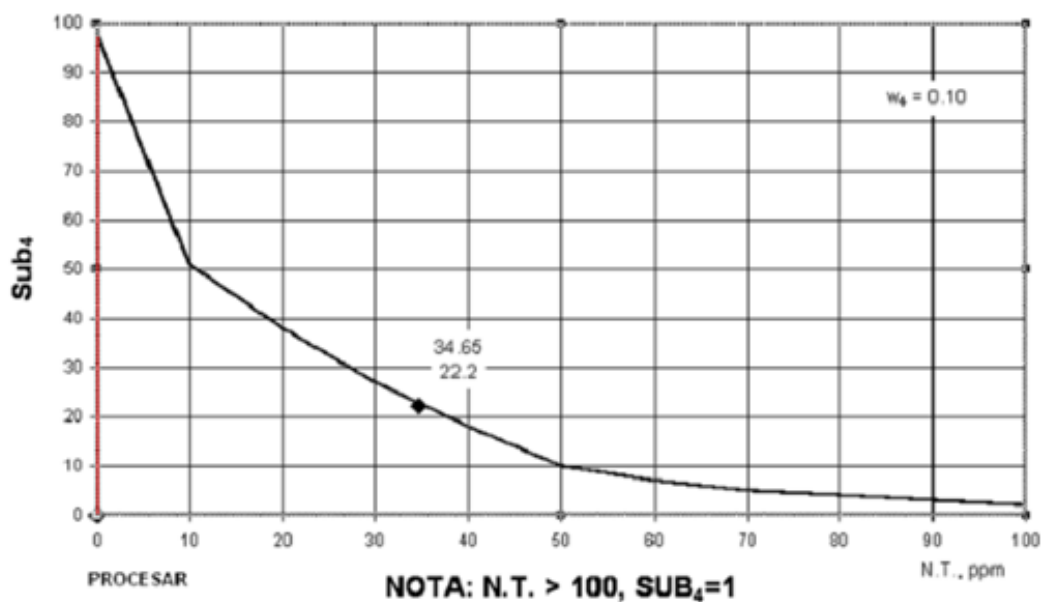


Figura 75. Nitratos en Salida planta (con cloración)

6.21.4 Fosfatos

Si es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en las figuras 76 a 82, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub5) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w_5 , como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Fosfatos

PUNTO	FT mg/L	Dato
Captación	2.55	23.71
Valle Nuevo	2.15	26.17
Colonia Maestro/Cementerio	3.5	18.97
INTECAP	4.1	16.70
Desfogue	3.1	20.62
Salida Planta (sin cloración)	0.21	86.60
Salida Planta (con cloración)	0.15	90.31

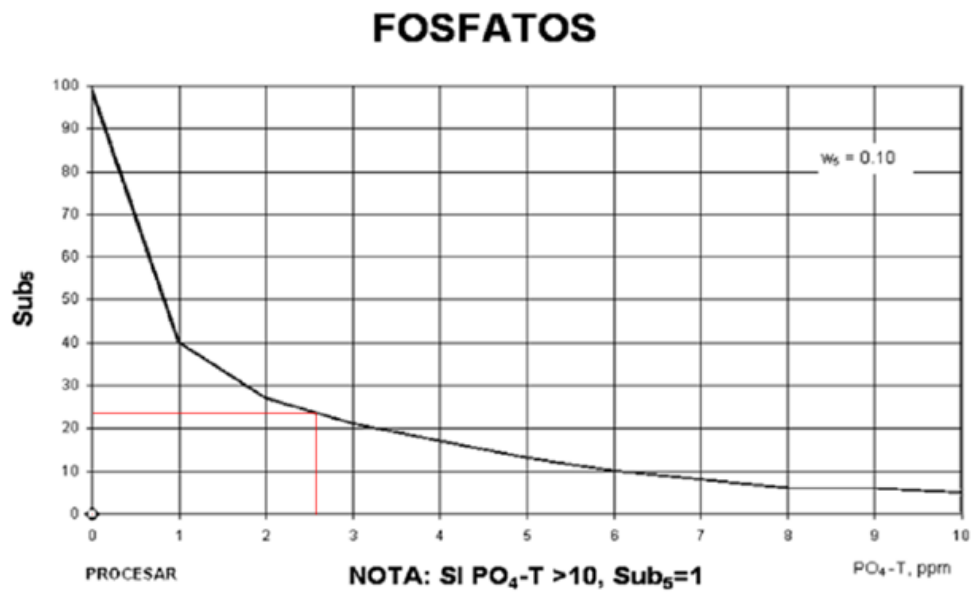


Figura 76. Fosfatos en captación

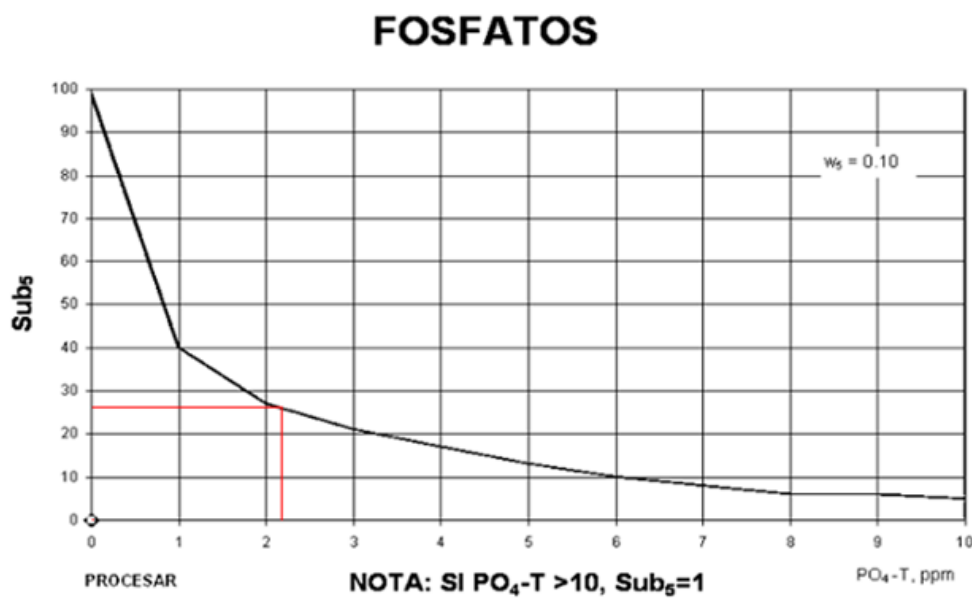


Figura 77. Fosfatos en Valle Nuevo

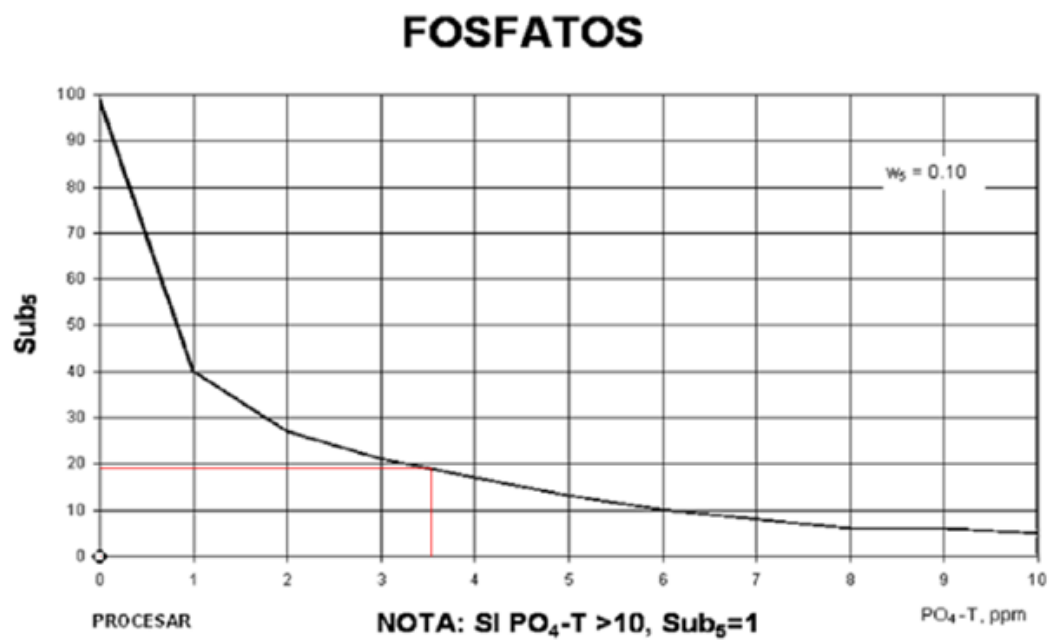


Figura 78. Fosfatos en Colonia Maestro/Cementerio

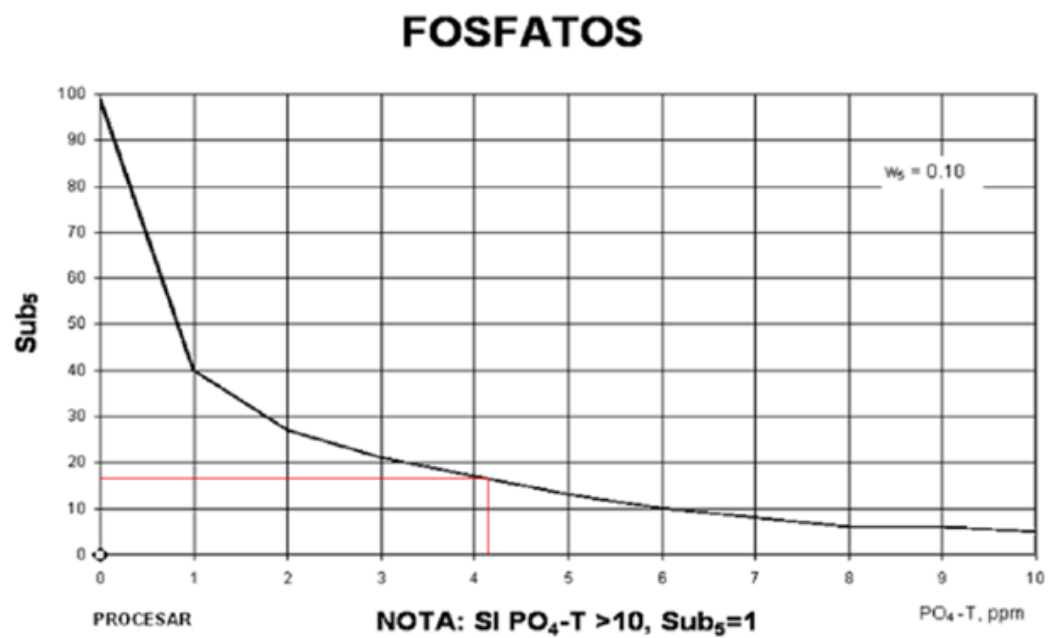


Figura 79. Fosfatos en INTECAP

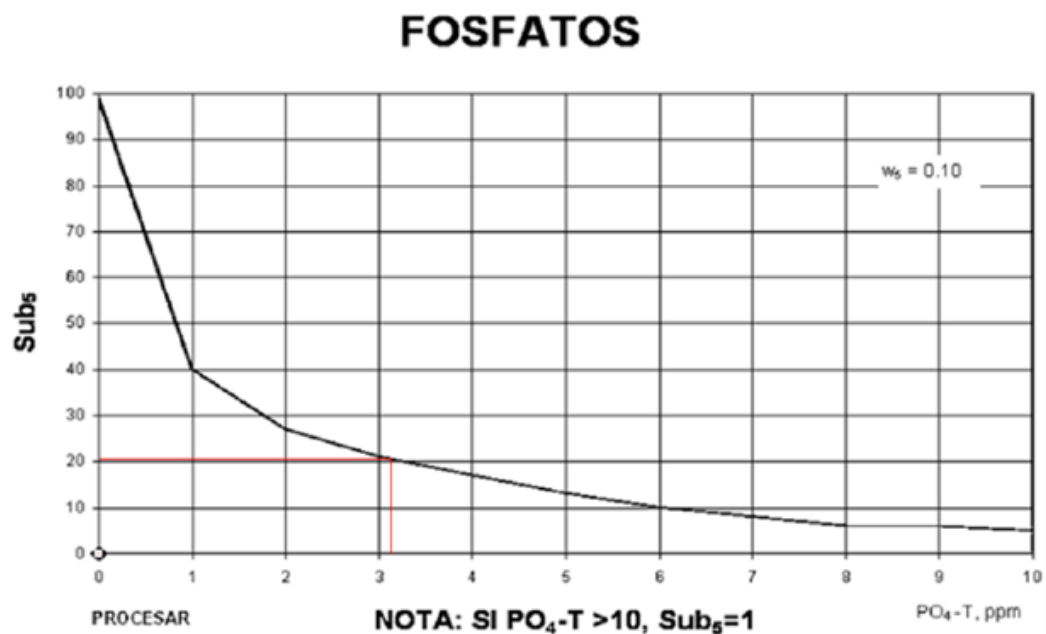


Figura 80. Fosfatos en desfogue

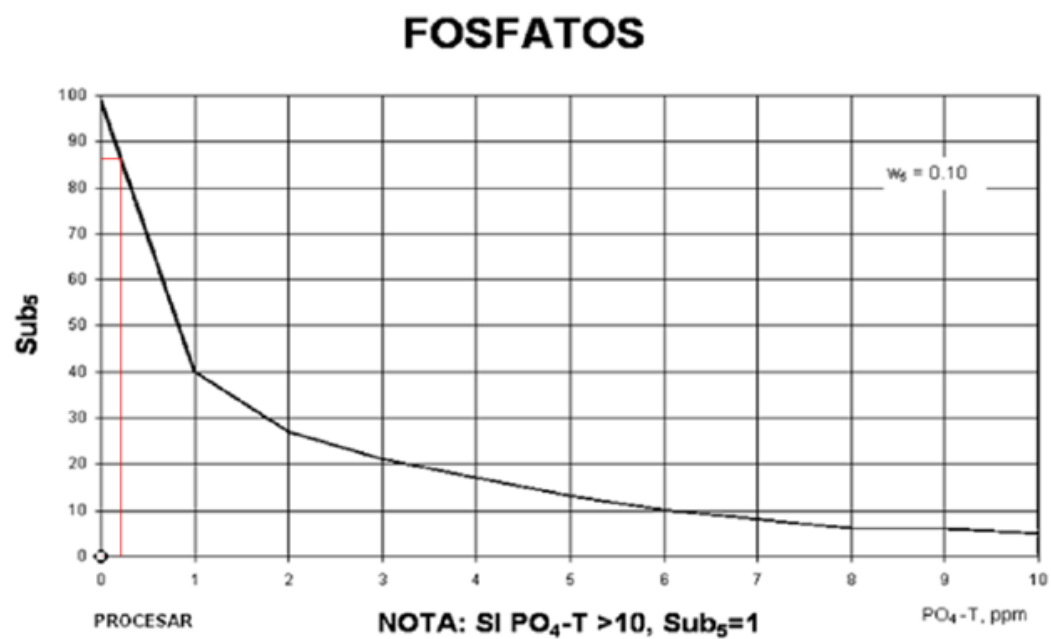


Figura 81. Fosfatos en salida planta (sin cloración)

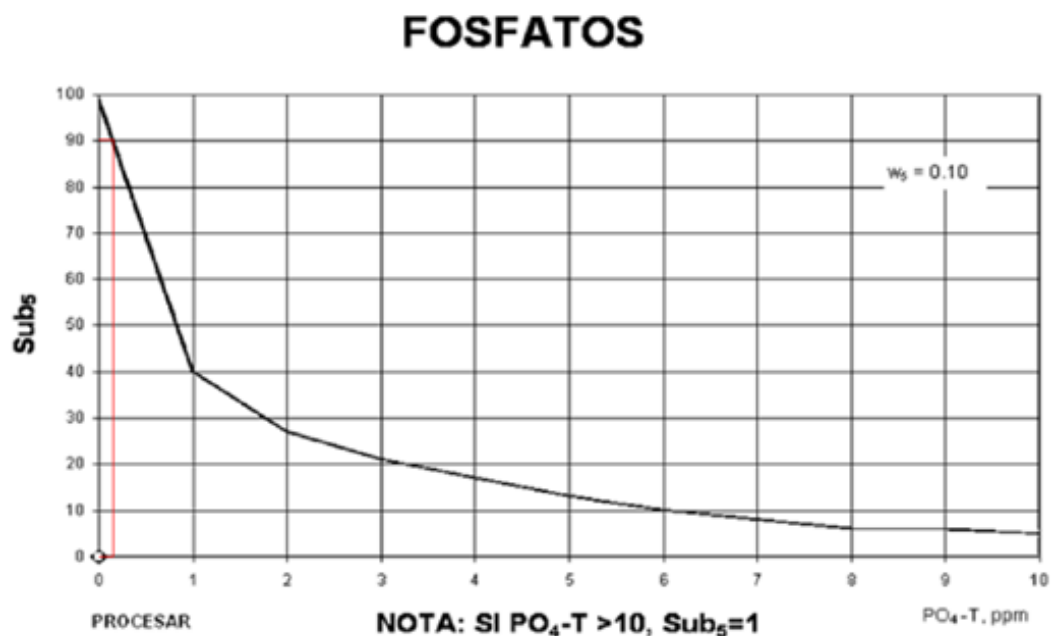


Figura 82. Fosfatos en salida planta (con cloración)

6.21.5 Temperatura

Para este parámetro se calcula primero la diferencia entre la T° ambiente y la T° muestra y con el valor obtenido se procede. Si el valor de la diferencia es mayor de $15^\circ C$ el (Sub6) es igual a 9, si es menor de $15^\circ C$ se busca el valor en el eje (X) y en las figuras 83 a 89, se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub6) de temperatura y se procede a elevarlo al peso w_6 (temperatura mínima y máxima para el cálculo del día) como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Temperatura

PUNTO	Temperatura MU $^\circ C$	Temperatura Ambiente	Diferencia	Dato
Captación	23.90	27.00	-3.10	69.90
Valle Nuevo	28.70	27.00	1.70	79.14
Colonia Maestro/Cementerio	26.10	27.00	-0.90	86.38
INTECAP	27.00	27.00	0.00	92.95
Desfogue	29.20	27.00	2.20	75.33
Salida Planta (sin cloración)	24.60	27.00	-2.40	75.02
Salida Planta (con cloración)	25.20	27.00	-1.80	79.89

CAMBIO DE TEMPERATURA

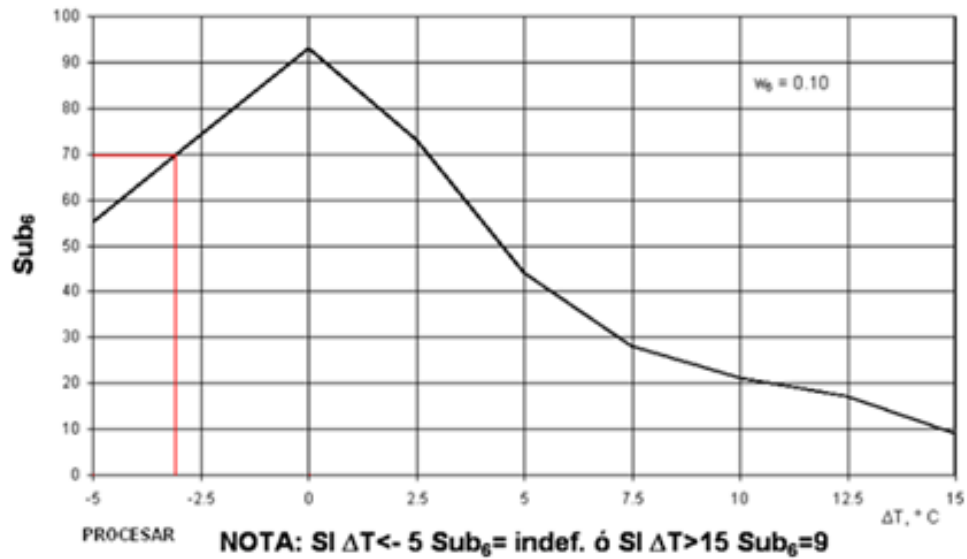


Figura 83. Cambio de temperatura en captación

CAMBIO DE TEMPERATURA

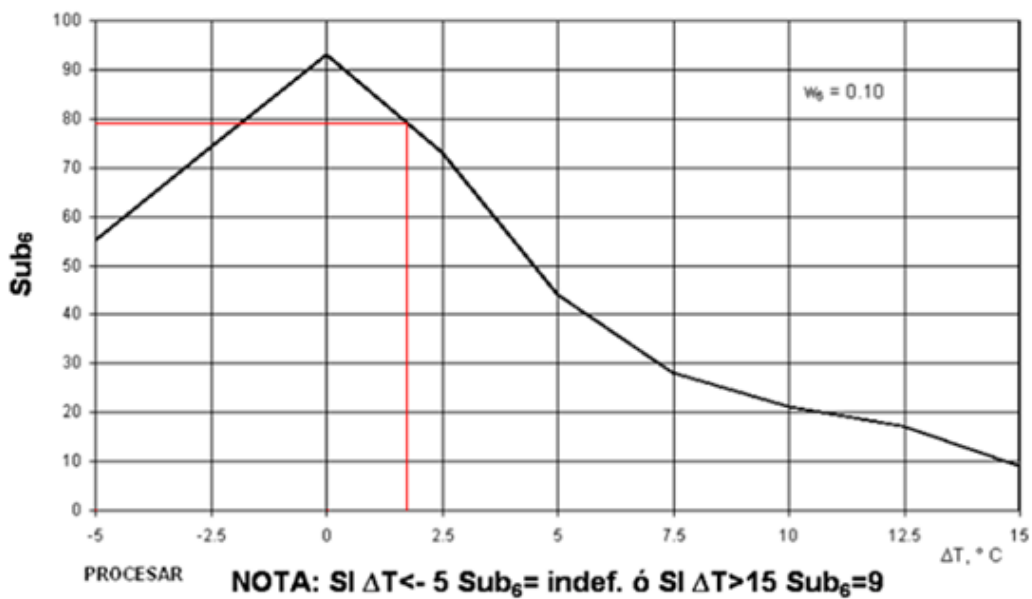


Figura 84. Cambio de temperatura en Valle Nuevo

CAMBIO DE TEMPERATURA

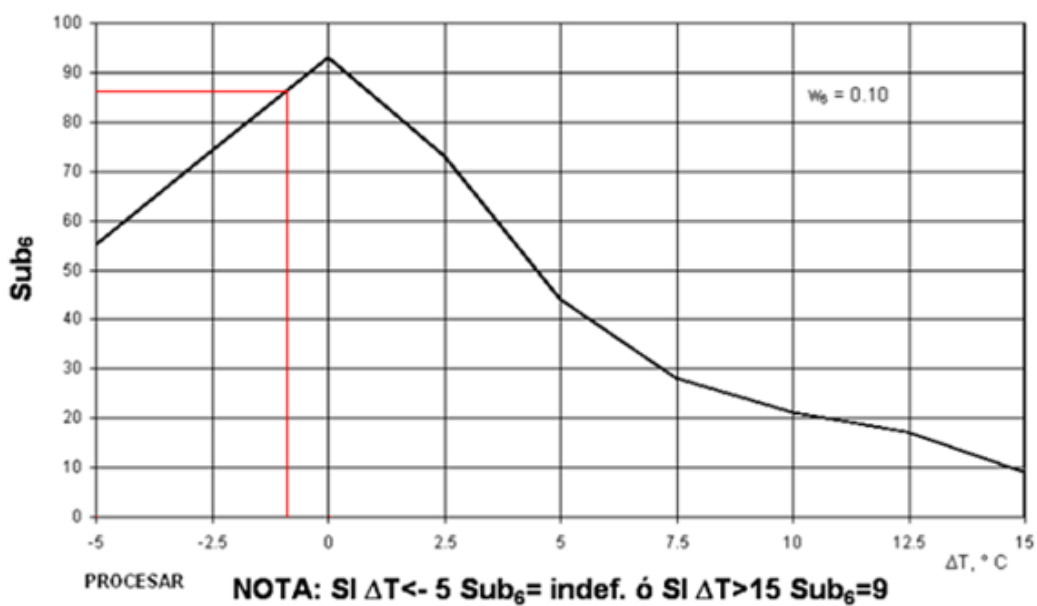


Figura 85. Cambio de temperatura en Colonia Maestro/Cementerio

CAMBIO DE TEMPERATURA

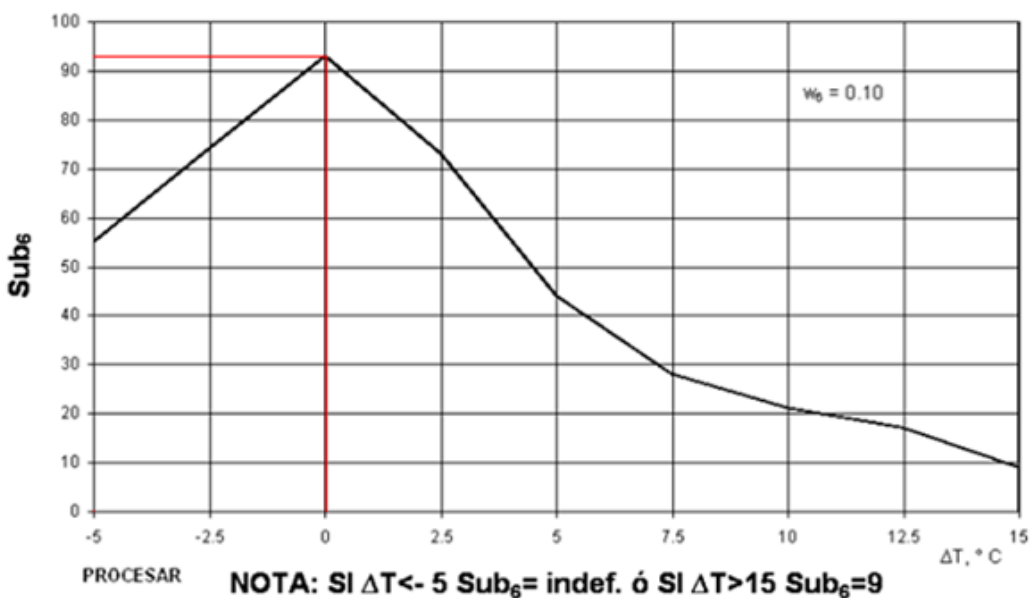


Figura 86. Cambio de temperatura en INTECAP

CAMBIO DE TEMPERATURA

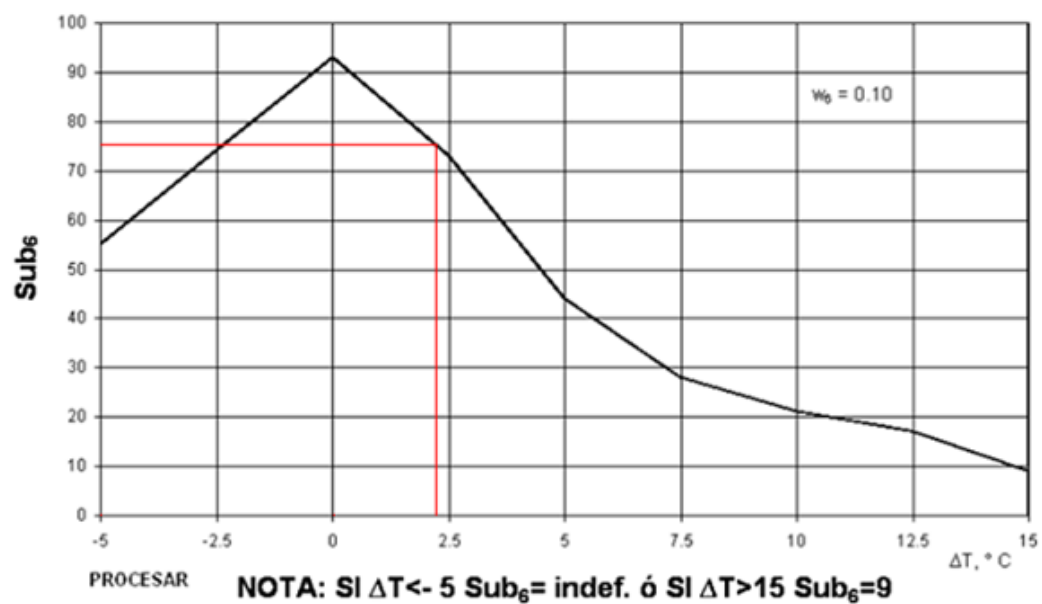


Figura 87. Cambio de temperatura en desfogue

CAMBIO DE TEMPERATURA

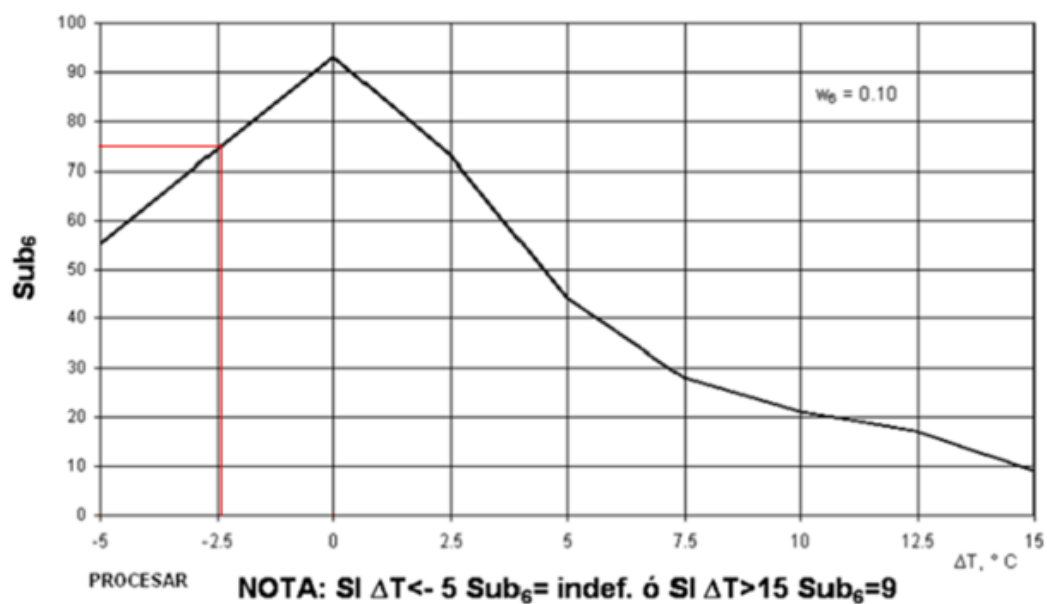


Figura 88. Cambio de temperatura en salida planta (sin cloración)

CAMBIO DE TEMPERATURA

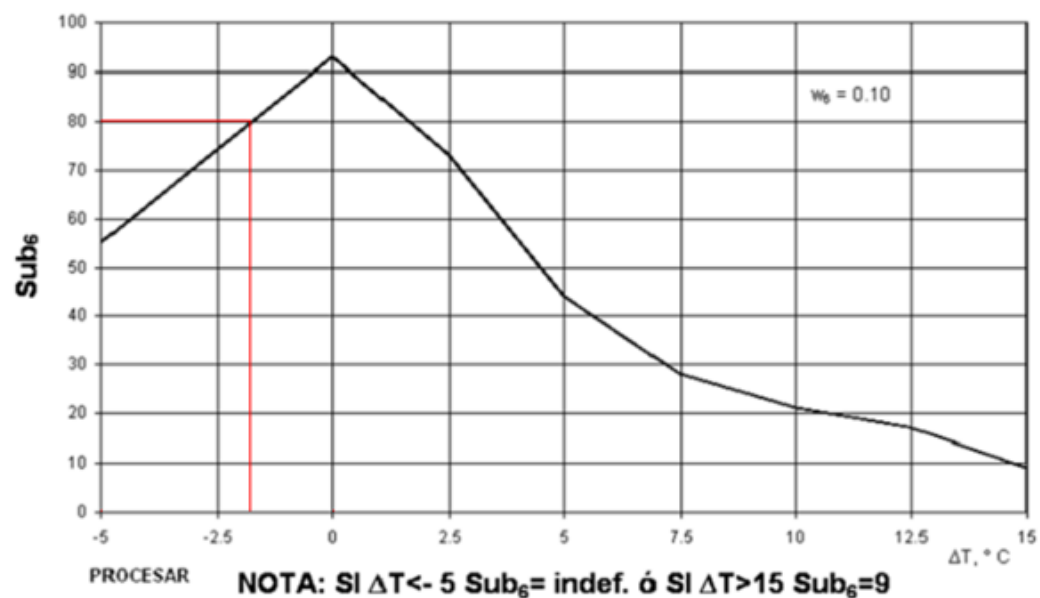


Figura 89. Cambio de temperatura en salida planta (con cloración)

6.21.6 Turbidez

Si es mayor de 100 NTU el (Sub7) es igual a 5, si la turbidez es menor de 100 NTU, se busca el valor en el eje (X) y se interpola en el eje (Y) de las figuras 90 y 91, el valor encontrado es el (Sub7) de turbidez y se procede a llevarlo al peso w_7 , como se aprecia en la tabla 17.

Tabla 17. Turbidez

PUNTO	Turbidez FAU	Turbidez UNT	Dato
Captación	48	733	5.00
Valle Nuevo	149	397	5.00
Colonia Maestro/Cementerio	39	565	5.00
INTECAP	40	632	5.00
Desfogue	32	278	5.00
Salida Planta (sin cloración)	7	3.10	91.12
Salida Planta (con cloración)	0	0.30	97.14

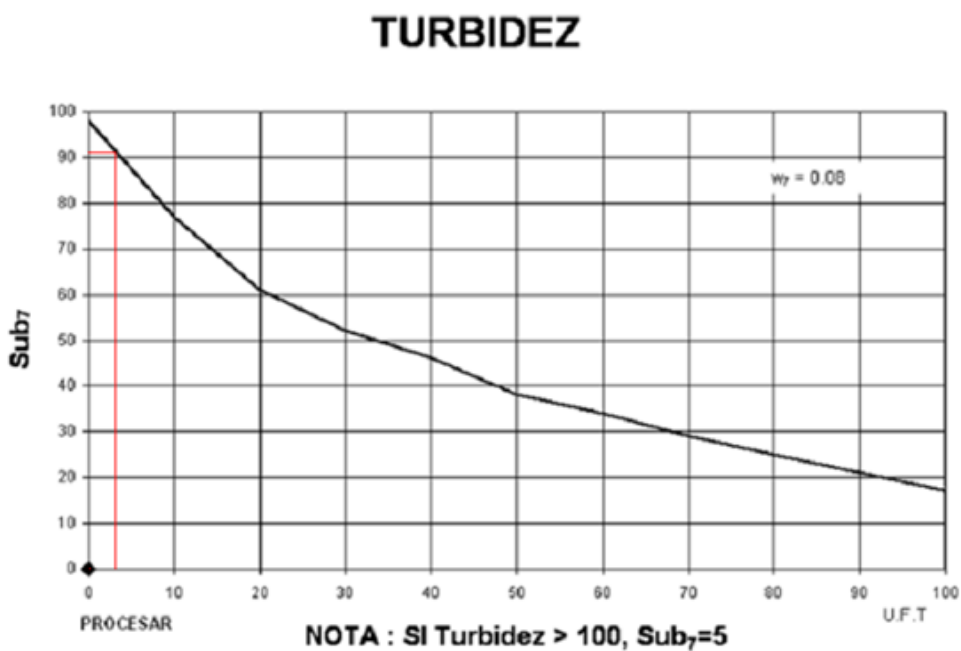


Figura 90. Turbidez en salida planta (sin cloración)

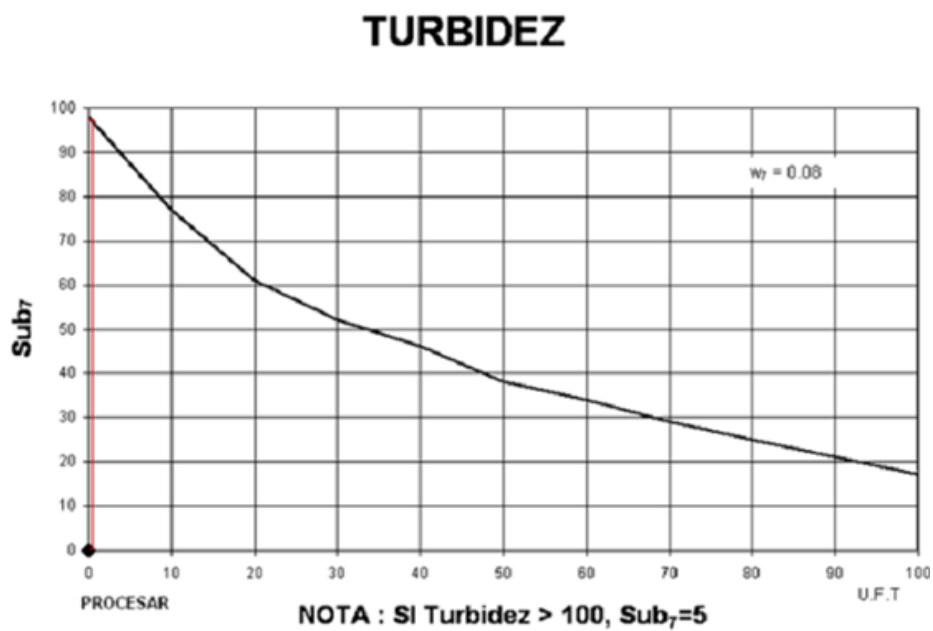


Figura 91. Turbidez salida planta (con cloración)

6.21.7 Sólidos disueltos totales

Si son mayores de 500 mg/l el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se busca el valor en el eje de (X) en las figuras 91 a 97, se interpola en el eje de la (Y), el valor encontrado es el (Sub8) de Sólidos disueltos Totales y se procede a elevarlo al peso w8, como se aprecia en la tabla 18.

Tabla 18. Sólidos disueltos totales

PUNTO	SDT mg/L	Dato
Captación	254.2	66.54
Valle Nuevo	250.80	67.11
Colonia Maestro/Cementerio	299.40	59.17
INTECAP	301	58.96
Desfogue	302	58.92
Salida Planta (sin cloración)	281.50	62.18
Salida Planta (con cloración)	258.80	65.80

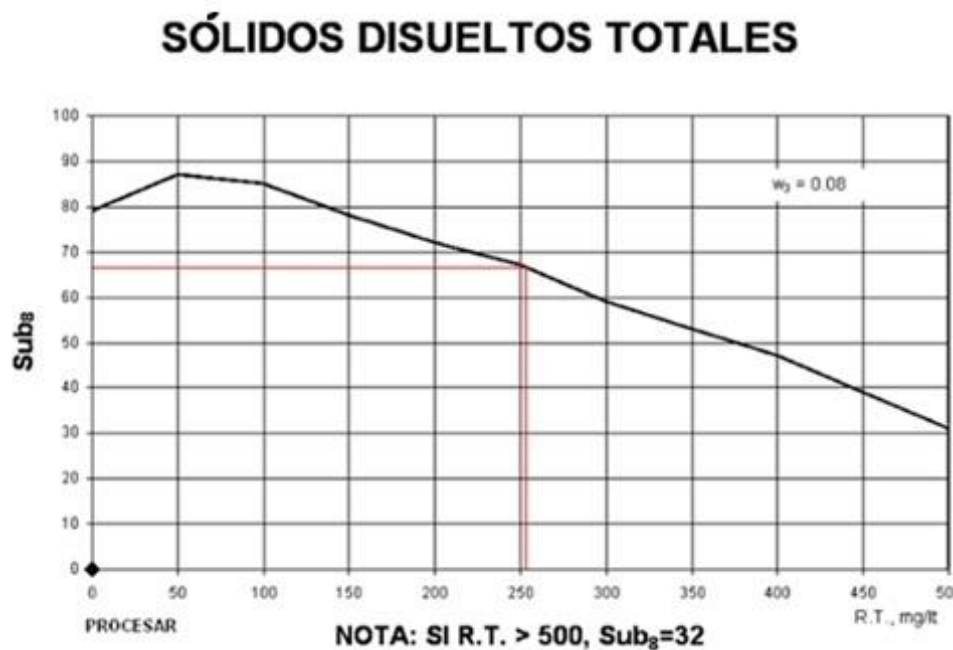


Figura 92. Sólidos disueltos totales en captación

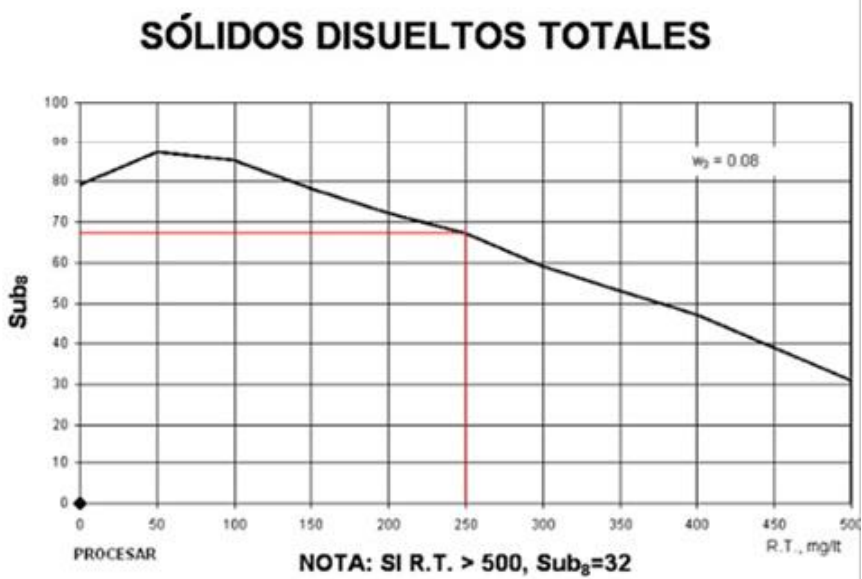


Figura 93. Sólidos disueltos totales en Valle Nuevo

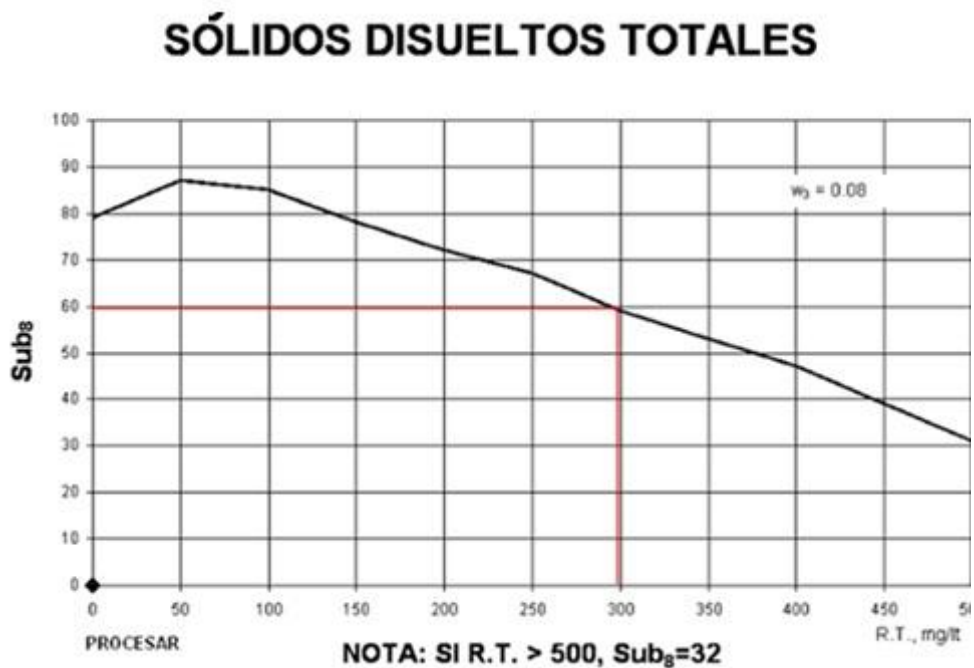


Figura 94. Sólidos disueltos totales en Colonia Maestro/Cementerio

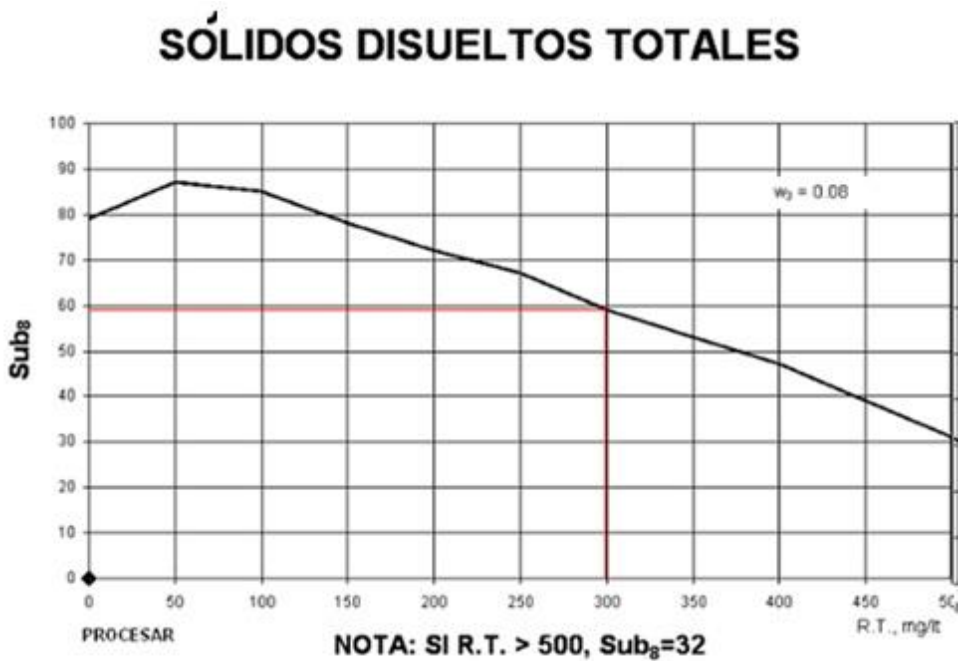


Figura 95. Sólidos disueltos totales en INTECAP

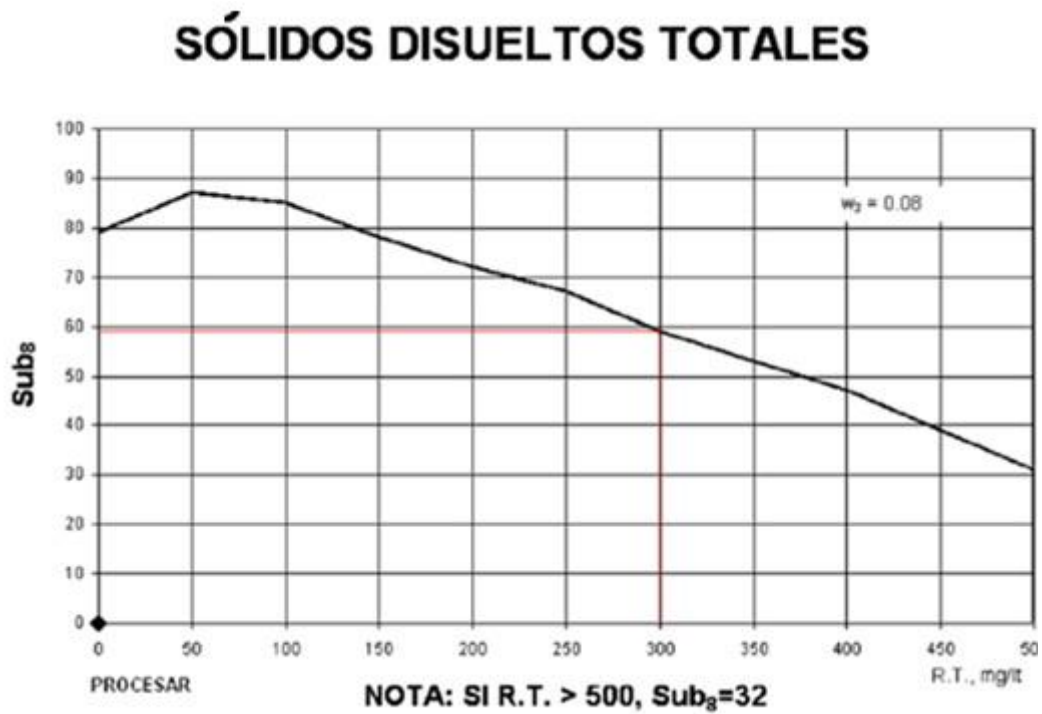


Figura 96. Sólidos disueltos totales en desfogue

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

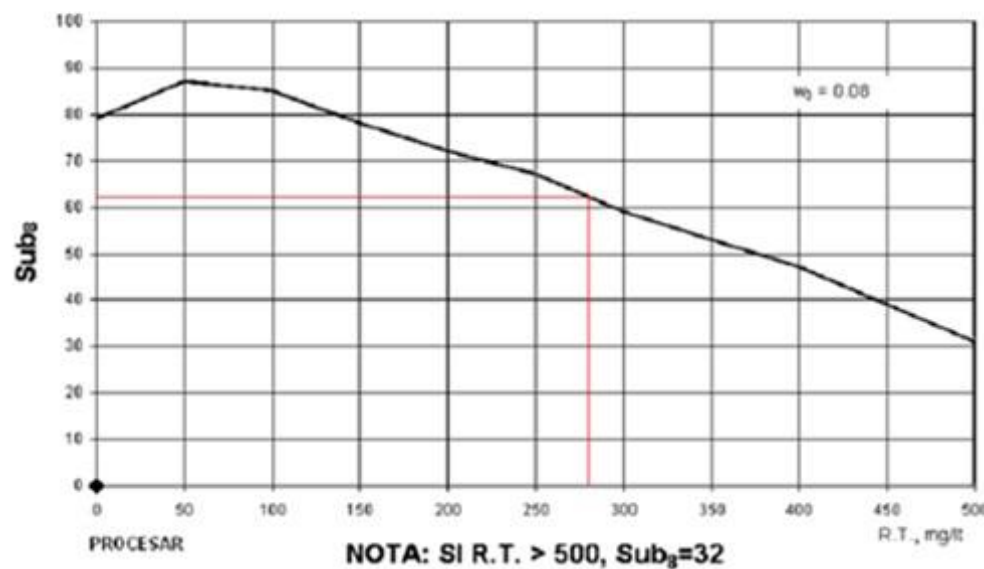


Figura 97. Sólidos disueltos totales en salida planta (sin cloración)

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

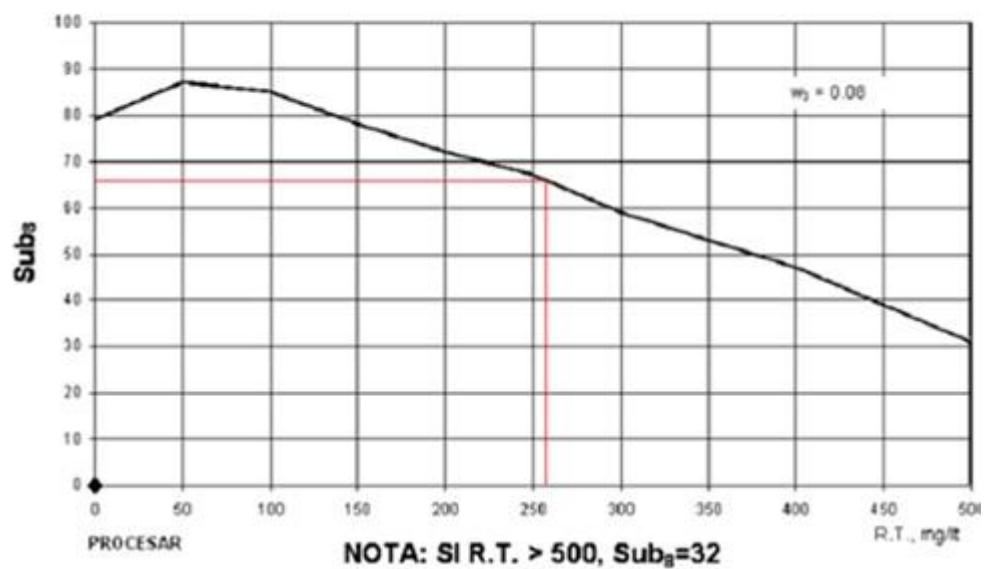


Figura 98. Sólidos disueltos totales en salida planta (con cloración)

6.21.8 Oxígeno disuelto

Hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua, identificando el valor de saturación de OD según la temperatura del agua como se demuestra en la tabla 19.

Tabla 19. Oxígeno disuelto

PUNTO	Temperatura °C	OD mg/L	% de saturación de oxígeno	Dato
Captación	23.90	8.04	95.71	96.52
Valle Nuevo	28.70	7.26	94.65	95.60
Colonia Maestro/Cementerio	26.10	7.42	91.72	94.23
INTECAP	27.00	7.38	92.83	94.86
Desfogue	29.20	7.01	91.40	94.15
Salida Planta (sin cloración)	24.6	9.17	111.29	94.20
Salida Planta (con cloración)	25.2	9.35	113.47	93.26

Tabla 20. Solubilidad del oxígeno en agua dulce

Temp.	OD	Temp.	OD	Temp.	OD	Temp.	OD
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.57	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.42	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Fuente: SNET (s. f.)

6.21.9 Oxígeno disuelto

Si el porcentaje (%) de saturación de OD es mayor a 140% el (Sub9) es igual a 47, si el valor es menor de 140% la saturación de OD se busca el valor en el eje (X) en las figuras 98 a 104, se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub9) de Oxígeno Disuelto y se

procede elevarlo el peso w_9 . Los valores obtenidos se incorporaron, para calcular el valor del Índice de Calidad de Agua por cada punto de muestro.

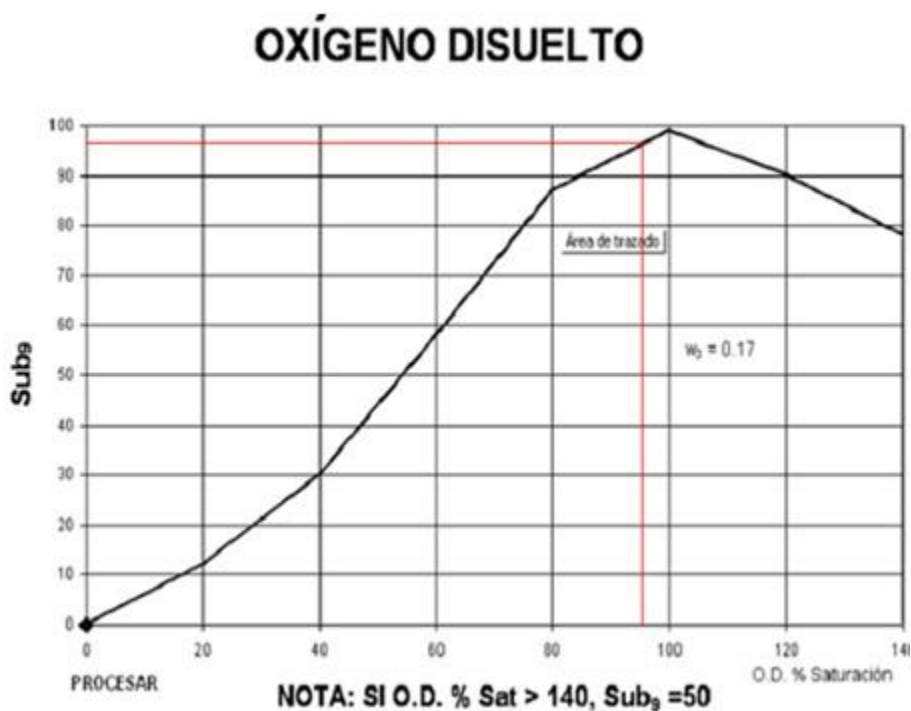


Figura 99. Oxígeno disuelto en captación

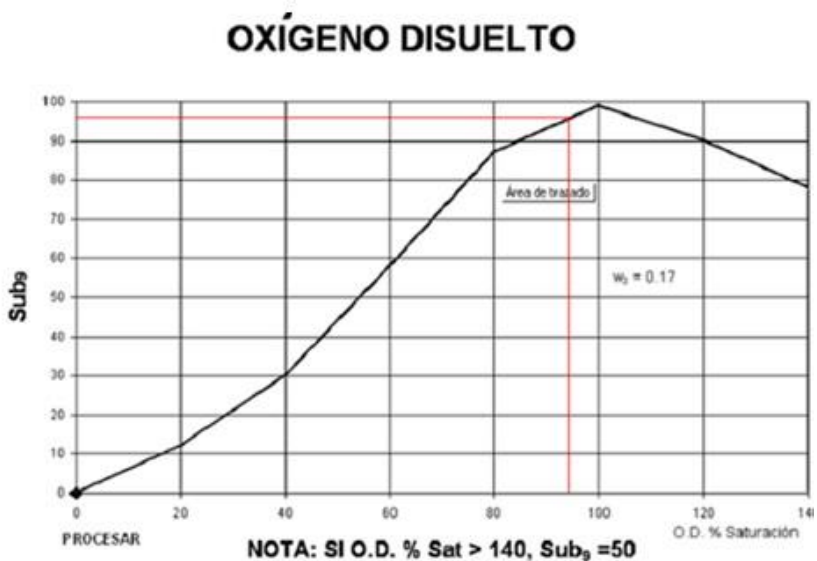


Figura 100. Oxígeno disuelto en Valle Nuevo

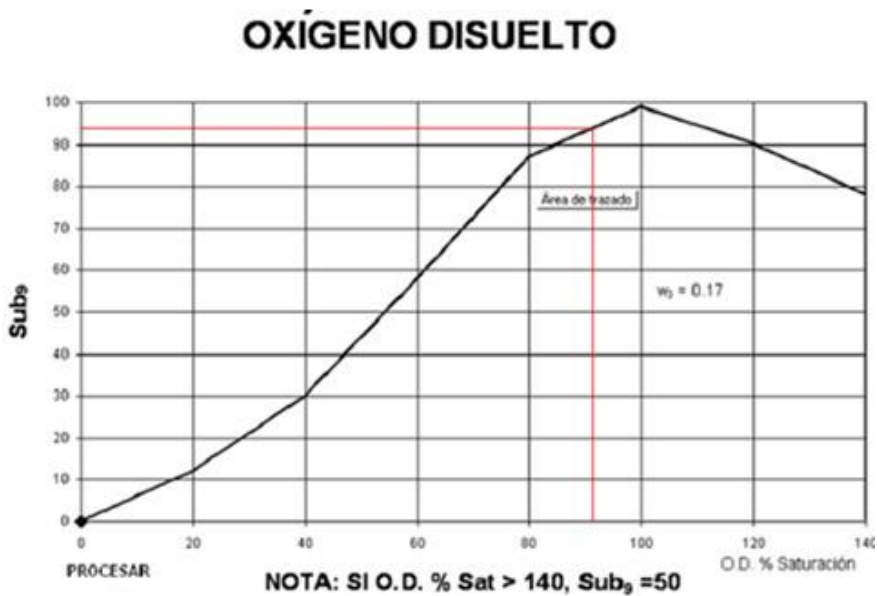


Figura 101. Oxígeno disuelto en Colonia Maestro/Cementerio

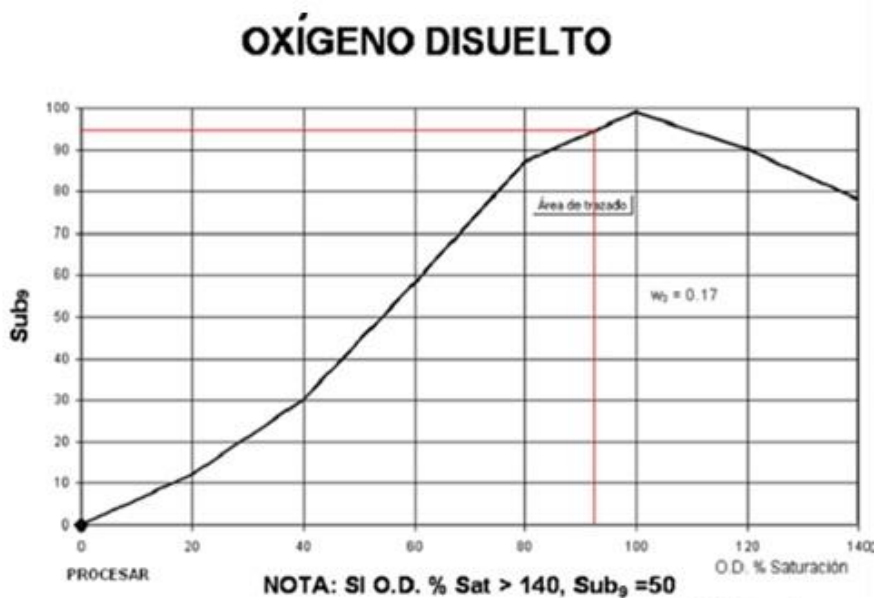


Figura 102. Oxígeno disuelto en INTECAP

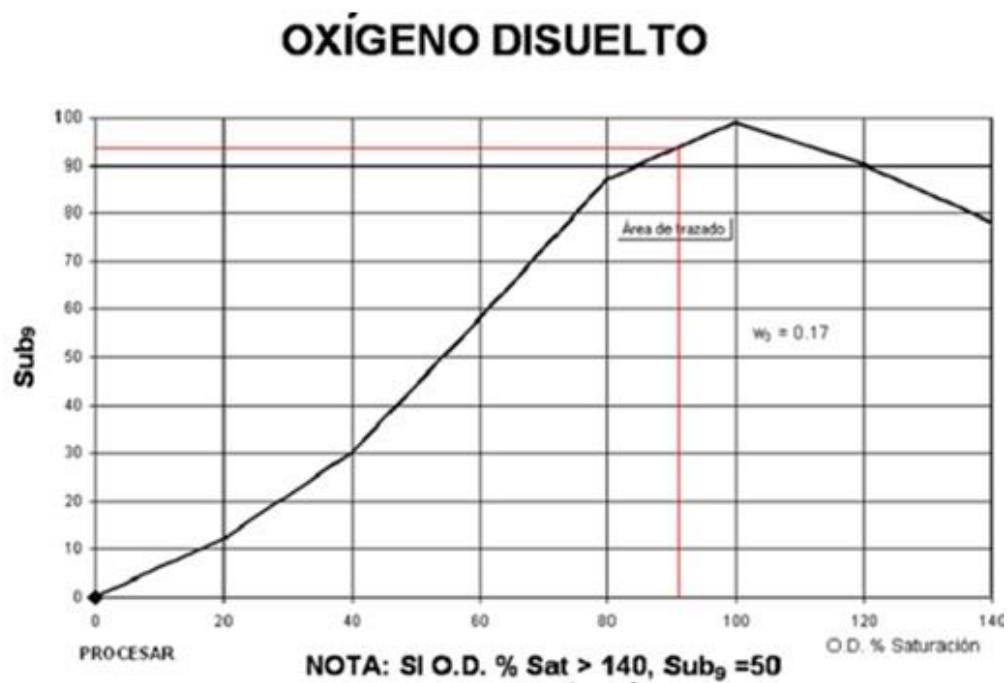


Figura 103. Oxígeno disuelto en desfogue

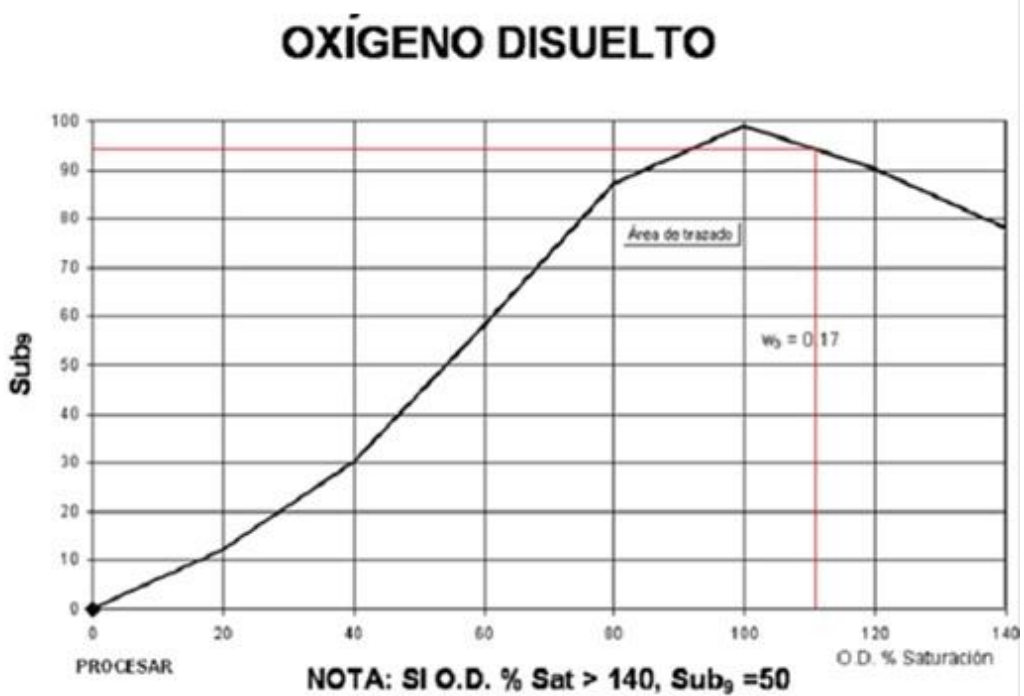


Figura 104. Oxígeno disuelto en salida planta (sin cloración)

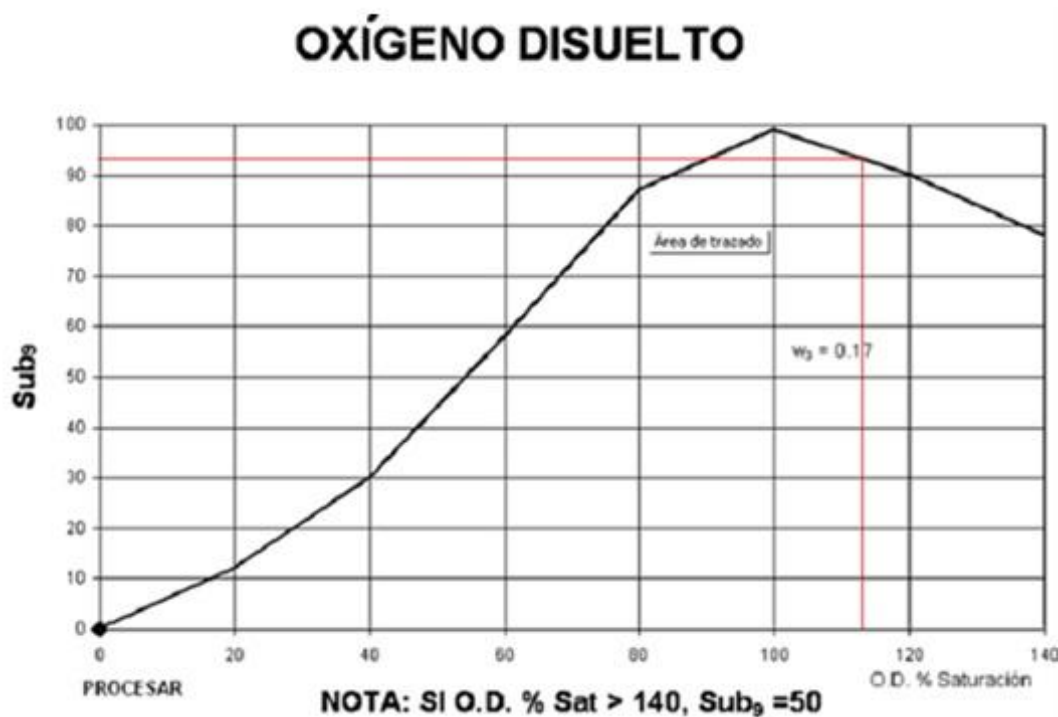


Figura 105. Oxígeno disuelto en salida planta (con cloración)

6.21.10 Resultados de valor ICA

Para la captación se ubica geográficamente antes del área urbana de Chiquimula, el resultado obtenido del Índice de Calidad del Agua es “Regular” por estar en el rango entre el 50 al 70.

En la tabla 21 se muestra Valor del ICA en la captación.

Tabla 21. Valor del ICA en la captación

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	53000.00	NMP/100 mL	5.60	0.15	0.84
2	pH	7.05	unidades de PH	90.25	0.12	10.83
3	DBO5	17.00	mg/ L	16.72	0.1	1.67
4	Nitratos	4.50	mg/ L	76.51	0.1	7.65
5	Fosfatos	2.55	mg/ L	23.71	0.1	2.37
6	Cambio de la Temperatura	23.90-27.00 = -3.10	°C	69.90	0.1	6.99

7	Turbidez UNT	733.00	FAU	5.00	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos Totales	254.00	mg/ L	66.54	0.08	5.32
9	Oxígeno Disuelto	8.04	% saturación	96.52	0.17	16.41
Valor del “ICA” • Captación					Σ	52.49

- Uso de agua potable: tratamiento de potabilización indispensable
- Uso agrícola: utilizable en la mayoría de los cultivos

Valle Nuevo: se ubica en la zona 3 del área urbana de Chiquimula, el resultado obtenido del Índice de Calidad del Agua es “Mala” por estar en el rango entre el 25 al 50.

Tabla 22. Valor del ICA en Valle Nuevo

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	220,000.00	NMP/100 mL	3.00	0.15	0.45
2	pH	8.38	unidades de PH	68.62	0.12	8.23
3	DBO5	451.00	mg/ L	2.00	0.1	0.20
4	Nitratos	4.50	mg/ L	76.38	0.1	7.64
5	Fosfatos	2.15	mg/ L	26.17	0.1	2.62
6	Cambio de la Temperatura	28.70-27.00 = 1.70	°C	79.14	0.1	7.91
7	Turbidez UNT	397.00	FAU	5.00	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos Totales	251.00	mg/ L	67.11	0.08	5.37
9	Oxígeno Disuelto	7.26	% saturación	95.60	0.17	16.25
Valor del “ICA” • Valle Nuevo					Σ	49.07

- Uso de agua potable: dudoso para consumo
- Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos

Colonia Maestro/Cementerio: Se ubica en la zona 1 del área urbana de Chiquimula, el resultado obtenido del Índice de Calidad del Agua es “Mala” por estar en el rango entre el 25 al 50.

Tabla 23. Valor del ICA en colonia Maestro/Cementerio

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	18,000,000.00	NMP/100 mL	3.00	0.15	0.45
2	pH	8.29	unidades de PH	72.32	0.12	8.68
3	DBO5	46.20	mg/ L	2.00	0.1	0.20
4	Nitratos	7.23	mg/ L	53.55	0.1	5.36
5	Fosfatos	3.50	mg/ L	18.97	0.1	1.90
6	Cambio de la Temperatura	26.10-27.00 = -0.90	°C	86.38	0.1	8.64
7	Turbidez UNT	565.00	FAU	5.00	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos Totales	299.00	mg/ L	59.17	0.08	4.73
9	Oxígeno Disuelto	7.42	% saturación	94.23	0.17	16.02
Valor del "ICA" •Colonia Maestro/Cementerio					Σ	46.37

- Uso de agua potable: Dudoso para consumo
- Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos

INTECAP: se ubica en la zona 5 del área urbana de Chiquimula, el resultado obtenido del Índice de Calidad del Agua es "Mala" por estar en el rango entre el 25 al 50.

Tabla 24. Valor del ICA en INTECAP

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	26,000,000.00	NMP/100 mL	3.00	0.15	0.45
2	pH	8.25	unidades de PH	74.07	0.12	8.89
3	DBO5	80.10	mg/ L	2.00	0.1	0.20
4	Nitratos	6.29	mg/ L	67.96	0.1	6.80
5	Fosfatos	4.10	mg/ L	16.70	0.1	1.67
6	Cambio de la Temperatura	27.00-27.00 = 0	°C	92.95	0.1	9.30
7	Turbidez UNT	632.00	FAU	5.00	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos Totales	301.00	mg/ L	58.96	0.08	4.72
9	Oxígeno Disuelto	7.38	% saturación	94.86	0.17	16.13
Valor del "ICA" •INTECAP					Σ	48.54

- Uso de agua potable: dudoso para consumo

- Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos

Desfogue de la microcuenca del Río Tacó con el Río San José, el resultado obtenido del Índice de Calidad del Agua es “Mala” por estar en el rango entre el 25 al 50.

Tabla 25. Valor del ICA en desfogue

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	4,000,000.00	NMP/100 mL	3.00	0.15	0.45
2	pH	8.26	unidades de PH	73.68	0.12	8.84
3	DBO5	337.00	mg/ L	2.00	0.1	0.20
4	Nitratos	7.79	mg/ L	63.38	0.1	6.34
5	Fosfatos	3.10	mg/ L	20.62	0.1	2.06
6	Cambio de la Temperatura	29.20-27.00 = 2.20	°C	75.33	0.1	7.53
7	Turbidez UNT	278.00	FAU	5.00	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos	302.00	mg/ L	58.92	0.08	4.71
9	Totales					
	Oxígeno Disuelto	7.01	% saturación	94.15	0.17	16.01
Valor del “ICA” Desfogue					Σ	46.54

- Uso de agua potable: dudoso para consumo
- Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos

Salida Planta (sin cloración): Se tomaron dos muestras de agua en la planta de tratamiento tanque de agua río Tacó.

En la primera muestra que se tomó del agua aún no estaba finalizado el proceso químico del tratamiento, obteniendo como resultado un Índice de Calidad de Agua “Buena”.

Tabla 26. Valor del ICA en salida planta (sin cloración)

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	2420.00	NMP/100 mL	18.84	0.15	2.83
2	pH	7.36	unidades de PH	92.81	0.12	11.14
3	DBO5	0.00	mg/ L	97.93	0.1	9.79
4	Nitratos	0.00	mg/ L	97.04	0.1	9.70
5	Fosfatos	0.21	mg/ L	86.60	0.1	8.66
6	Cambio de la Temperatura	24.60-27.00 = -2.40	°C	75.02	0.1	7.50
7	Turbidez UNT	3.10	FAU	91.12	0.08	7.29

8	Sólidos disueltos Totales	281.50	mg/ L	62.18	0.08	4.97
9	Oxígeno Disuelto	9.17	% saturación	94.20	0.17	16.01
Valor del “ICA” •SALIDA PLANTA (sin cloración)					Σ	77.90

- Uso de agua potable: dudoso para consumo sin purificación
- Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.

Salida planta (con cloración): la segunda muestra de agua en la planta de tratamiento tanque de agua río Tacó.

En la segunda muestra que se tomó del agua el proceso de tratamiento estaba finalizado, obteniendo como resultado un Índice de Calidad de Agua “Excelente”.

Tabla 27. Valor del ICA en salida planta (con cloración)

	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	wi	Total
1	Coliformes Fecales	0.00	NMP/100 mL	97.50	0.15	14.63
2	pH	7.85	unidades de PH	86.63	0.12	10.40
3	DBO5	0.00	mg/ L	97.93	0.1	9.79
4	Nitratos	0.00	mg/ L	97.04	0.1	9.70
5	Fosfatos	0.15	mg/ L	90.31	0.1	9.03
6	Cambio de la Temperatura	25.20-27.00 = -1.80	°C	79.89	0.1	7.99
7	Turbidez UNT	0.30	FAU	97.14	0.08	7.77
8	Sólidos disueltos Totales	281.50	mg/ L	65.80	0.08	5.26
9	Oxígeno Disuelto	9.35	% saturación	93.26	0.17	15.85
Valor del “ICA” •SALIDA PLANTA (con cloración)					Σ	90.43

Sobre el uso de agua potable se identificó que no requiere purificación para consumo; mientras que, sobre el uso de agricultura, se determinó que no requiere purificación para riego.

• **Análisis 1: calidad general del agua (Bronw 1970)**

Con el resultado obtenido en el Índice de Calidad del Agua -ICA- y análisis del inventario predial, se determinó que al momento de que el caudal ingresa en el área urbana de la cabecera

departamental de Chiquimula es fuertemente contaminado por la población, por las causas siguientes:

- No contar con servicio de drenaje, trasladando las aguas servidas directamente al río Tacó, ocasionando un bajo nivel de ICA y a un aumento considerable en la contaminación.
- Habitantes que no utilizan el servicio municipal o privado para trasladar los desechos sólidos a vertederos autorizados, creando vertederos no autorizados, ocasionando la contaminación de la microcuenca del río Tacó.
- Habitantes que entierran, queman y desechan los desechos sólidos directamente a la microcuenca del río Tacó.

El resultado ICA obtenido en la planta de tratamiento se encuentra en el rango 90-100 que se denomina “Excelente”; sin embargo, el resultado se encuentra en el límite inferior del rango denominado “Levemente contaminada”, por lo tanto, es necesario buscar mecanismos para aumentar el ICA de la planta de tratamiento.

Tabla 28. Calidad general del agua

Río	Punto de Control	Índice de Calidad del Agua -ICA	Calidad General del Agua (Bronw 1970)
Microcuenca río Tacó	• Captación	52.49	Regular
	• Valle Nuevo	49.07	Mala
	• Colonia Maestro/Cementerio	46.37	Mala
	• INTECAP	48.54	Mala
	• Desfogue	46.54	Mala
	Salida Planta (sin cloración)	77.90	Buena
Planta de tratamiento	Salida Planta (con cloración)	90.43	Excelente

- Análisis 2: Calidad del agua según los criterios generales de uso**

Se determinó el ICA según el uso del recurso hídrico, reconociendo que para emplear el agua de manera potable y agrícola es necesario contar con una planta de tratamiento.

Tabla 29. Calidad del agua según los criterios generales de uso

Ubicación	Punto Control	Referencia	Índice de Calidad del Agua -ICA	Uso de Agua Potable	Uso Agrícola
Microcuenca río Tacó	1	• Captación	52.49	Contaminada	Levemente contaminada
	6	• Valle Nuevo	49.07	Fuertemente contaminada	Contaminada
	3	• Colonia Maestro/Cementerio	46.37	Fuertemente contaminada	Contaminada
	4	• INTECAP	48.54	Fuertemente contaminada	Contaminada
	5	• Desfogue	46.54	Fuertemente contaminada	Contaminada
Planta de tratamiento	7	Salida Planta (sin cloración)	77.9	Levemente contaminada	Aceptable
	2	Salida Planta (con cloración)	90.43	Excelente	Excelente

- Análisis 3: Análisis ICA de los estudios relacionados**

- Investigación realizada por Jennifer Nataly King Calderón, estudiante de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local como tesis titulada “Caracterización de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula 2015, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 30. Análisis ICA de investigación realizada por Jennifer Nataly King Calderón

RÍO TACÓ				
Punto	Ubicación	Índice de Calidad del Agua -ICA	Uso de Agua Potable	Uso Agrícola
RTP-11	Presa Molino	49.73	Fuertemente contaminada	Contaminada
RTP-12	Aldea Tacó Arriba	50.35	Contaminada	Levemente contaminada
RTP-13	Puente barrio San Pedrito	40.33	Fuertemente contaminada	Contaminada
RTP-14	Colonia Las Rosas	39.94	Fuertemente contaminada	Contaminada

- b. Investigación realizada por José Ramiro García Álvarez, estudiante del Postgrado Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental Local en la facultad de Agronomía, como tesis titulada “Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula” en el año 2010, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 31. Análisis ICA de investigación realizada por José Ramiro García Álvarez

Río	Punto de control	Índice de Calidad del Agua -ICA	Uso de Agua Potable	Uso Agrícola
Río Tacó	Río Tacó 1	69	Levemente contaminada	Aceptable
	Río Tacó 2	44	Fuertemente contaminada	Contaminada

- Análisis 4: Análisis comparativo**

Se realizó un análisis comparativo de las investigaciones realizadas del Índice de Calidad de Agua -ICA-, según su uso, de la microcuenca del río Tacó del año 2010, 2015 y 2023, obteniendo los siguientes análisis.

Al comparar los datos con otras investigaciones relacionadas se puede determinar que el crecimiento poblacional de la parte alta de la microcuenca del río Tacó está afectando a la contaminación del recurso hídrico. Asimismo, se estima que, la problemática de la contaminación del recurso hídrico de la parte baja de la microcuenca del río Tacó es por falta de educación ambiental, por lo tanto, los desechos se depositan en las calles y en el río Tacó, provocando la alta contaminación.

Así mismo, en el área de estudio se determinó que no todos los inmuebles cuentan con servicio de drenaje, provocando que las aguas servidas sean depositadas en la corriente de la

microcuenca del río Tacó; es por ello que el resultado del ICA refleja un gran porcentaje de coliformes fecales, obteniendo los siguientes resultados:

a. Análisis del punto de control que se ubica geográficamente antes que el caudal de la microcuenca del río Tacó ingrese en el área urbana del municipio de Chiquimula

En el año 2010 el resultado ICA fue de 69.00, en el año 2015 el ICA baja a 50.35 y con el resultado obtenido en el año 2022 se determinó un incremento favorable en el ICA de 52.49, aumenta la calidad del agua a comparación del año 2015.

- Uso de agua potable

En el año 2010 el uso de Agua Potable se encontraba “Levemente contaminada”, en el año 2015 a la actualidad se encuentra “Contaminada”.

- Uso agrícola

En el año 2010 en el uso Agrícola se encontraba “Aceptable”, en el año 2015 a la actualidad se encuentra “Levemente contaminada”.

Tabla 32. Análisis ICA comparativo

Año	Punto Control	Ubicación	Índice de Calidad del Agua -ICA	Uso de Agua Potable	Uso Agrícola
2010		Río Tacó 1	69.00	Levemente contaminada	Aceptable
2015	RTP-12	Aldea Tacó Arriba	50.35	Contaminada	Levemente contaminada
2023	1	Captación	52.49	Contaminada	Levemente contaminada

b. Análisis del punto intermedio que se ubica geográficamente entre la zona 4 y zona 1 del área urbana del municipio de Chiquimula

En el año 2015 el resultado ICA fue de 40.33 y el año 2022 se determinó un incremento favorable en el ICA de 46.37, aumenta la calidad del agua a comparación del año 2015.

– **Uso de agua potable**

Del año 2015 a la actualidad se encuentra “Fuertemente contaminada”.

– **Uso agrícola**

Del año 2015 a la actualidad se encuentra “Contaminada”.

Tabla 33. Análisis ICA del punto intermedio del río Tacó

Año	Punto Control	Ubicación	Índice de Calidad del Agua -ICA	Uso de Agua Potable	Uso Agrícola
2015	RTP-13	Puente Barrio San Pedrito	40.33	Fuertemente contaminada	Contaminada
2023	3	Colonia Maestro/Cementerio	46.37	Fuertemente contaminada	Contaminada

c. Análisis del punto final que se ubica geográficamente en el desfogue con el río San José del municipio de Chiquimula

En el año 2010 el resultado ICA fue de 44, en el año 2015 el ICA baja a 39.94 y con el resultado del año 2022 se determinó un incremento favorable en el ICA de 46.54, por lo que se estima que aumenta la calidad del agua a comparación del año 2010 y 2015.

– **Uso de agua potable**

Del año 2010 a la actualidad se encuentra “Fuertemente contaminada”.

– **Uso agrícola**

Del año 2010 a la actualidad se encuentra “Contaminada”.

Tabla 34. Análisis ICA del desfogue del río Tacó

Año	Punto Control	Ubicación	Índice de Calidad del Agua -ICA	Uso de Agua Potable	Uso Agrícola
2010		Río Tacó 2	44	Fuertemente contaminada	Contaminada
2015	RTP-14	Colonia Las Rosas	39.94	Fuertemente contaminada	Contaminada
2023	5	Desfogue	46.54	Fuertemente contaminada	Contaminada

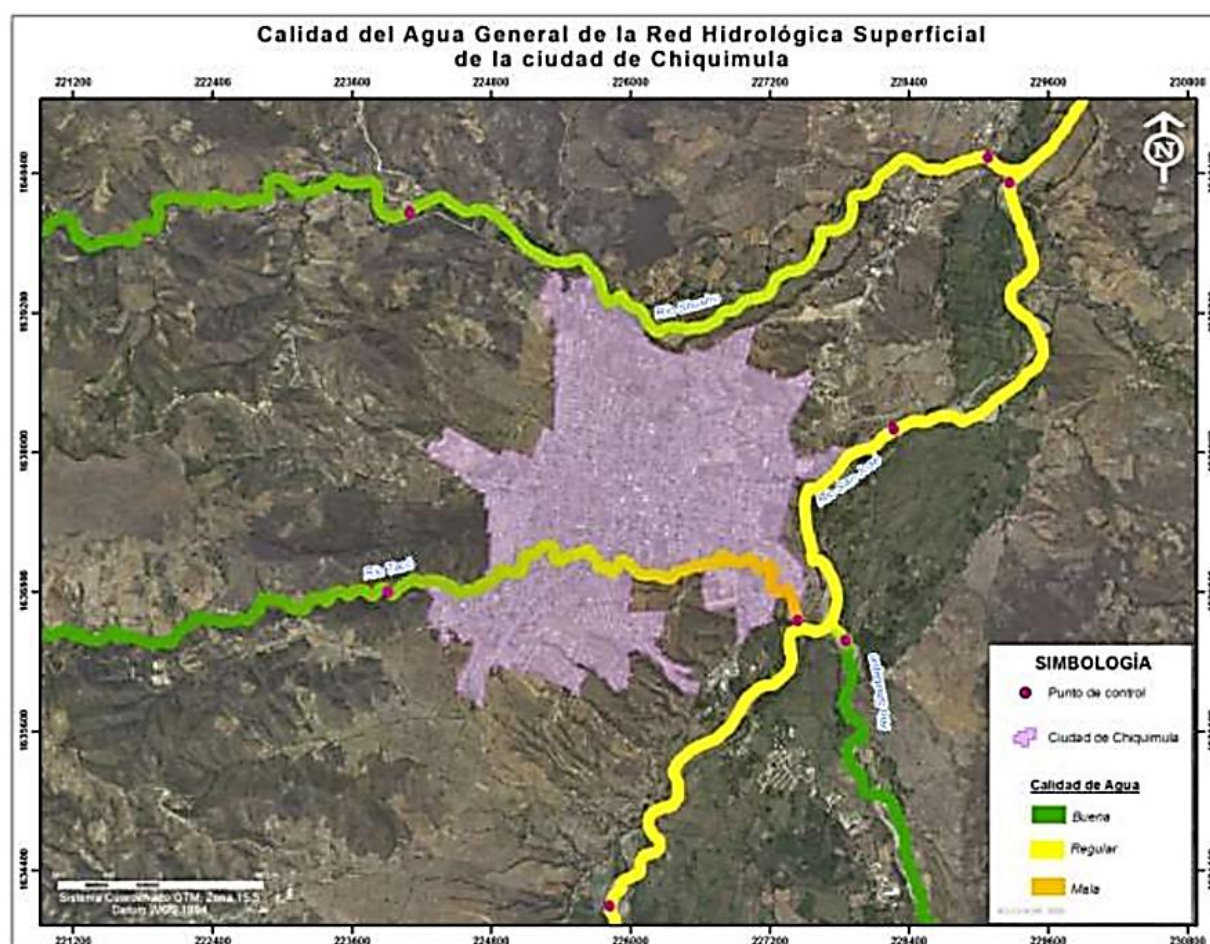


Figura 106. Mapa del Índice de calidad del agua del año 2010

Fuente: tomado de García Álvarez (2010).

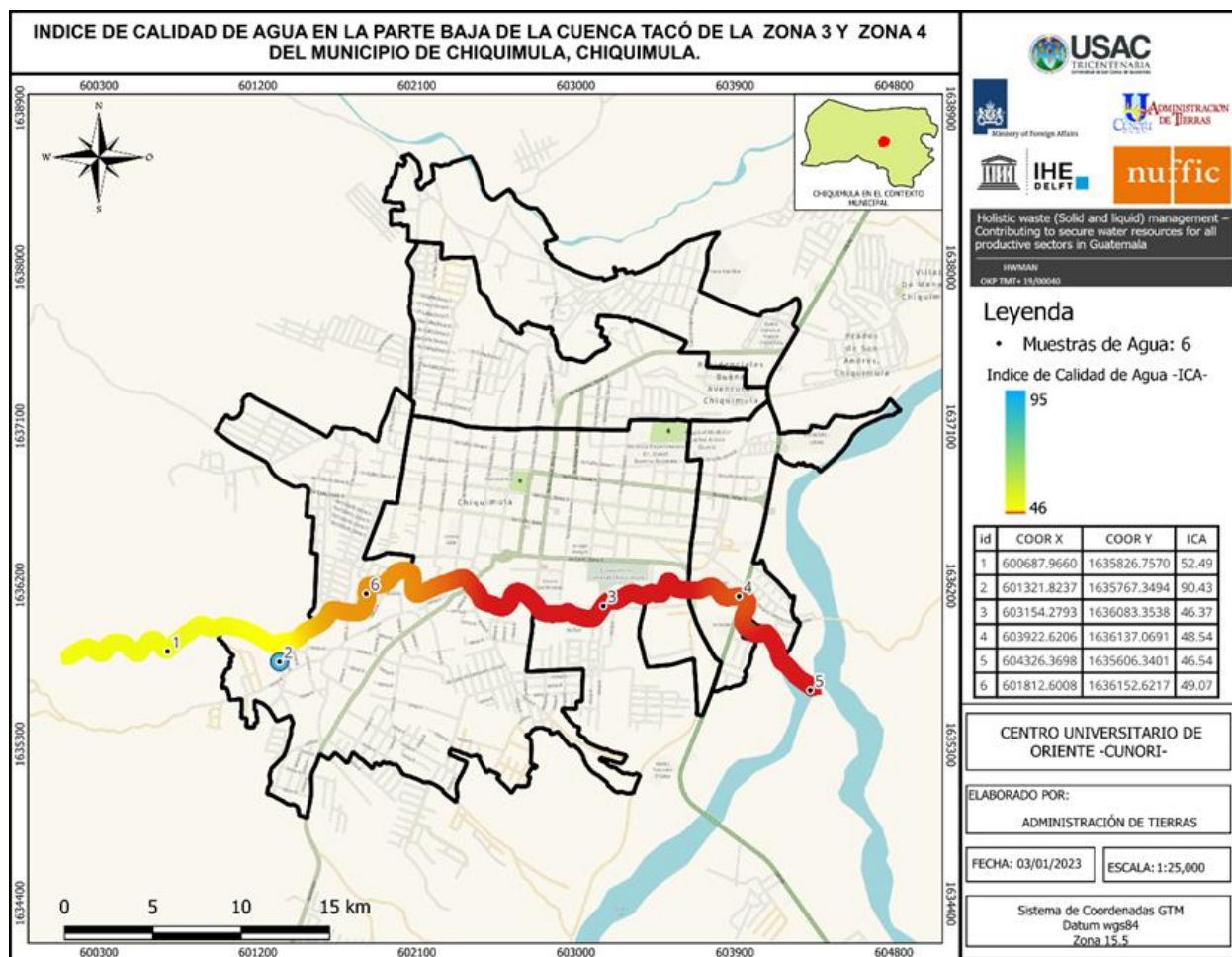


Figura 107. Mapa del índice de calidad del agua año 2023

7. CONCLUSIONES

- a. Se determinó que de 548 predios que conforman el inventario, 53 (9.67%) no hacen uso del tren de aseo y no se encuentran conectados al servicio de drenaje, encontrándose en las categorías de construcción de sus viviendas baja y precaria; en 24 (4.38%) los habitantes realizan la quema de los desechos, en 29 (5.29%) los habitantes entierran o tiran sus desechos sólidos y aguas residuales al cauce del río, incrementando la contaminación del recurso hídrico y el ambiente.
- b. Se identificaron en el área de estudio 29 vertederos no autorizados y se determinó que al momento que el caudal ingresa en el área urbana es fuertemente contaminado por la población debido a que existen predios que no cuentan con el servicio de drenaje y no utilizan el servicio municipal o privado para trasladar los desechos sólidos a vertederos autorizados, por lo que entierran, queman y desechan los desechos sólidos directamente a la microcuenca del río Tacó. Además, el Índice de Calidad de Agua obtenido en la planta de tratamiento se encuentra en el rango 90-100, es decir, en excelente estado; sin embargo, se encuentra en el límite inferior de estar levemente contaminada.
- c. Con base en los resultados obtenidos del Índice de Calidad de Agua -ICA- al momento que el caudal del río Tacó ingresa al área urbana de Chiquimula, baja la calidad del agua de “regular” a “fuertemente contaminada”, provocada por los desechos sólidos que son depositados a la corriente del río, aguas servidas y por 29 vertederos informales que se encuentran en su alrededor.
- d. Con base en los resultados de las muestras de agua se determinó que la contaminación por bacterias coliformes fecales es uno de los factores más influyentes, puesto que,

conforme la trayectoria de la correntía del río pasa por el área urbana de Chiquimula va en aumento, lo cual limita el uso del recurso hídrico para actividades domésticas e industriales.

- e. Al comparar los resultados del Índice de Calidad del Agua de la cuenta del río Tacó con los valores del estudio realizado en el año 2010 a la actualidad, se determinó que el valor del ICA va en disminución, por el aumento de la población y el mal manejo de los desechos sólidos y aguas residuales.
- f. Se realizó la sensibilización en forma presencial y transmitida en vivo, en las redes sociales, a la población que habita en el área de estudio, con participación de representantes de Consejos Comunitarios de Desarrollo, otros pobladores del área de estudio, autoridades y estudiantes del Centro Universitario de Oriente, enfocando la preocupación que la academia ha tenido en cuanto a la alta contaminación del río Tacó parte baja, del municipio de Chiquimula. En la actividad realizada no se obtuvo la participación de representantes de la municipalidad de Chiquimula para realizar un diálogo de desarrollo territorial de buena gobernanza con los participantes.

8. RECOMENDACIONES

- a. Promover al acceso de los servicios básicos, en especial, el servicio de drenaje y tren de aseo, a la población de bajos recursos, con el propósito de reducir la contaminación ambiental y proteger la salud de la población.
- b. A la Municipalidad de Chiquimula, realizar gestiones de desarrollo territorial juntamente con la población en el área de estudio, para la conservación del recurso hídrico de la cuenca del río Tacó, empleando como herramienta la información gráfica y alfanumérica generada.
- c. A las autoridades municipales, implementar correctamente las ordenanzas municipales para disminuir la contaminación que existe en el lugar, obteniendo una buena gobernanza en el desarrollo del territorio, orientado a la calidad de vida de los habitantes.
- d. Promover en la población chiquimulteca la clasificación de los desechos sólidos, para la generación de aboneras orgánicas, con el objetivo de obtener más ingresos de capital en sus hogares.
- e. Mantener actualizada la información del uso del suelo, para facilitar la toma de decisiones de las autoridades municipales en las gestiones del desarrollo territorial.
- f. Continuar con el monitoreo de la calidad del agua en la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, para generar una base de datos que permitan sistematizar el Índice de Calidad del Agua -ICA- en una base de datos.

- g. Al Consejo Comunitario de Desarrollo, establecer un comité dedicado al manejo y conservación del recurso hídrico de la microcuenca del río Tacó con funciones de planificadores y facilitadores en implementar estrategias para reducir la contaminación de desechos sólidos causada por diferentes actividades habitacionales y comerciales en el área de estudio.

9. REFERENCIAS

Álvarez Orellana, M. F. (2002). El mapa y la formación del profesorado, aportaciones sobre la cartografía en revistas y sugerencias bibliográficas. *Didáctica Geográfica*, (5), 11-41.
<https://didacticageografica.age-geografia.es/index.php/didacticageografica/article/view/171>

Betancurth Loaiza, D. P., Vélez Álvarez, C., y Sánchez Palacio, N. (2020). Cartografía social: construyendo territorio a partir de los activos comunitarios en salud. *Entramado*, 16(1), 138-151.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032020000100138



Carretero Segarra, S. (2015). *Modelos digitales del terreno mediante fotogrametría aérea realizada con un vehículo aéreo no tripulado* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía]. Archivo Digital Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/37590/1/PFC_Soledad_Carretero_Segarra.pdf

Casasola Garza, A. K. (2014). *Línea base de la calidad de las fuentes de agua superficiales en la finca Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2013* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Sitio Oficial del Centro Universitario de Oriente.
http://cunori.edu.gt/descargas/Linea_base_de_la_calidad_de_las_fuentes_de_agua_superficiales_en_la_finca_el_cascajal_ubicada_en_el_municipio_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_2013.pdf

Catalán López, M. A. (2012). *Aplicaciones enriquecidas para internet: estado actual y tendencias*
[Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería].
Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0569_CS.pdf

Consejo Municipal de Desarrollo Chiquimula. (2018). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial municipio de Chiquimula, Chiquimula 2018 - 2032*. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/2001_PDM_OT-Chiquimula.pdf

Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. (2016?). *Informe situacional de los sistemas de agua potable, saneamiento e higiene del departamento de Chiquimula*.
Secretaría Ejecutiva de la CONRED/Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia/Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social/Instituto de Fomento Municipal. <https://reliefweb.int/report/guatemala/conred-informe-situacional-sistemas-agua-potable-chiquimula> https://reliefweb.int/attachments/fa996c88-83a6-3e6f-ba63-c1cbfc0dd1be/Redhum_GT_Informe_Situacional_Sistemas_Agua_Potable_Chiquimula_CONRED-20160222-IC-17772.pdf



Decreto número 41-2005 [Congreso de la república de Guatemala]. Ley del Registro de Información Catastral. 20 de julio de 2005. Diario de Centro América (22), 1-8.
https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/decretos/2005/gtdcx41-2005.pdf

Forero Patiño, N. (2015). *La cartografía social como herramienta de articulación entre la planeación territorial y la gestión socioambiental: caso Cuenca Río Salitre, Bogotá D.C.* [Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ingenierías]. Repositorio de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/413/LA%20CARTOGRAF%C3%93%20SOCIAL%20COMO%20HERRAMIENTA%20DE%20ARTICULACION%20ENTRE%20LA%20PLANEACION%20TERRITORIAL%20Y%20LA%20GESTION%20SOCIOAMBIENTAL%20CASO%20CUENCA%20RIO%20SALITRE%20BOGOTA%20D.C.pdf;jsessionid=71AE8ADB997FEF253DFD1D08CA8888E5?sequence=1>

García Álvarez, M. G. (2009). *Determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos Tacó y Shusho, municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula* [Tesis de licenciatura, Universidad San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Repositorio del Sistema Bibliotecario de la Universidad San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2933/1/19%20A%20T-1362-690.pdf>



García, A. V. (s.f.). La calidad del agua del Río Sucio en la zona del valle de San Andrés. *Revista Tecnológica Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE*, 46-50. <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/496/1/Calidad%20del%20agua%20.pdf>

Grupo de Expertos en Administración y Gestión de Tierras. (2019). *Marco para la administración efectiva de la tierra: una referencia para desarrollar, reformar, renovar, fortalecer o modernizar los sistemas de administración y gestión de tierras*. Comité de Expertos de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de Información Geoespacial. https://ggim.un.org/documents/FELA_draft_final_Es.pdf

Grupo Provincial de Apoyo a los Agentes de Empleo y Desarrollo Local. (s. f.). *Herramientas para el diagnóstico territorial*. <https://gpa.dip-caceres.es/analisis/herramientas-diagnostico-territorial/>

Guatevisión. (19 de agosto de 2019). *Escasez de agua se agudiza en Chiquimula, donde vecinos exigen soluciones urgentes*. <https://www.guatevision.com/noticias/departamental/escasez-de-agua-se-agudiza-en-chiquimula-donde-vecinos-exigen-soluciones-urgentes>

Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. (2018). *Resultados del censo 2018: departamento de Chiquimula*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>

Iregui, M. (16 de septiembre del 2013). *Concepto sobre el uso de suelo y las licencias de construcción*. Asuntos Legales. <https://www.asuntoslegales.com.co/consultorio/concepto-sobre-el-uso-de-suelo-y-las-licencias-de-construccion-2061441>



King Calderón, J. N. (2017). *Caracterización de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula 2015* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Biblioteca virtual del Sitio oficial del Centro Universitario de Oriente. https://hksoluciones.sfo2.digitaloceanspaces.com/hksoluciones/tesisusac/libros/CD_2464-INGENIER%C3%8DA_EN_GESTI%C3%93N_AMBIENTAL_LOCAL.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=EDVVKX7GE6M4PQ6FC2BS%2F20230130%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20230130T164359Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=f07ebff03ce6ec662e54fab1563ee6584f72a115c01bd6e8d490ae991840b70d

Lifeder. (c2020). *Densidad de población: concepto, cómo se calcula y ejemplos*.

<https://www.lifeder.com/como-calcula-densidad-de-poblacion/>

López López, M. A. (2017). *Caracterización y propuesta de manejo de desechos sólidos, diagnóstico y servicios en la cabecera municipal de Esquipulas, departamento de Chiquimula, Guatemala, C. A* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía]. Repositorio del Sistema Bibliotecario de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/8061/1/Tesis.pdf>

López Miranda, M. A. (2021). *Levantamiento fotogramétrico con dron del predio Jorge Yáñez Castro* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias]. Sitio oficial de la Universidad de Babahoyo.
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/10275/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000345.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Medel Agustín, R. (2015). *SIG para mejora de análisis geográficos* [Tesis de licenciatura, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú]. Depósito Institucional de la Universitat Politècnica de Catalunya.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83290/Mem%c3%b2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Economía. (2017). *Perfil departamental Chiquimula*. <https://pdfslide.net/documents/departamento-de-chiquimula-mineco-ministerio-de-departamento-de-zacapa.html?page=1>

Moya-Zamora, J. y Cedeño-Montoya, B. (2017). Conceptos básicos en geodesia como insumo para un tratamiento adecuado de la información geoespacial. *Revista Geográfica de América Central*, (58), 71-100. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/9370/11109>

Ochoa Polo, J. C. (2015). *Metodología y procedimientos para el uso de software de diseño asistido por computador y su conexión a sistemas de información geográfica en el GAD municipal de Cantón Cuenca* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería de Sistemas]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8921/1/UPS-CT005165.pdf>



Piumetto, M. (2020). La innovación como clave para la actualización de valores: el caso de la provincia de Córdoba. En H. Eguino y D. Erba (Eds.), *Catastro, valoración inmobiliaria y tributación municipal: experiencias para mejorar su articulación y efectividad* (pp. 42-56). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Catastro-valoracion-inmobiliaria-y-tributacion-municipal-Experiencias-para-mejorar-su-articulacion-y-efectividad.pdf>

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (2003). *Uso del suelo (informe anual)*. http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/informes/informe2003_borrame/temas/suelo.pdf

Ramírez Pazos, J. A. (2012). *Esquema director de ordenamiento urbanístico e identificación de proyectos urbanos estratégicos para el casco urbano de la ciudad de Chiquimula 2011-2031* [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura]. Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3418.pdf

Ramos Cantoral, M. F. (2018). *Diagnóstico territorial de la zona 1, del municipio de Chiquimula* [tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Biblioteca Virtual del Sitio Oficial del Centro Universitario de Oriente. https://hksoluciones.sfo2.digitaloceanspaces.com/hksoluciones/tesisusac/libros/Diagn%C3%B3stico_territorial_de_la_Zona_1_Chiquimula.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=EDVVKX7GE6M4PQ6FC2BS%2F20230330%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20230330T145556Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=39caa0a99ade2e776ae7ad805d2ff7c787081bd63b39d1126183fb227e4f3988



Rodríguez Varela, P. (2016). *Promoción de la salud y desarrollo comunitario: proyecto en el barrio de Pontepedriña* [Tesis de licenciatura, Universidad da Coruña, Faculta de Ciencias de la Salud]. Repositorio de la Universidad da Coruña. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17381/Rodr%c3%adguezVarela_Patricia_TFG_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Rodríguez Villegas, M. (2020). *La cartografía temática como herramienta para la enseñanza del desarrollo sostenible* [Tesis de maestría, Universidad Zaragoza, Facultad de Educación]]. Repositorio Institucional de Documentos de la Universidad de Zaragoza. <https://zagan.unizar.es/record/97645/files/TAZ-TFM-2020-500.pdf>

Ros Moreno, A. (10 de junio de 2011). Clasificación de los ICA [Curso en línea]. En *El agua, calidad y contaminación* (2/2). Mailxmail.com. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/clasificacion-ica>

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Subsecretaría de Planificación y Ordenamiento Territorial. (2018). Marco conceptual de la planificación y ordenamiento territorial en Guatemala. En *Guía metodológica para la elaboración del plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial en Guatemala* (pp. 16-34). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PnY0eiw8VV8J:https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/Guia_PDM_OT.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=gt



Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (s. f.). *Índice de calidad del agua general "ICA"*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>

Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J. y Rajabifard, A. (2014). *La teoría moderna de la administración de la tierra*. En *Administración de la tierra para un desarrollo sostenible* (pp. 130-155). ESRI Press Academic. https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/209536788/LandAdministration_Spanish.pdf

Zarza, L. F. (c2023). *¿Qué es la contaminación del agua?* la agua.

<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>



10. APÉNDICES

Apéndice 1. Encuesta sobre manejo de desechos sólidos

Código de la vivienda: _____

1. ¿Cuántos habitantes hay en su vivienda?
1 a 5 hab () 6 a 10 hab () 11 a 15 hab () más de 16
2. ¿Qué tipo de desechos producen en su vivienda?
Orgánicos () Inorgánicos ()
3. ¿Qué tipo de desechos producen en su mayoría en su vivienda?
Orgánicos () Inorgánicos ()
4. ¿Qué cantidad de bolsas (30 litros) de basura produce a la semana?
5. ¿Usted clasifica su basura?
No () Sí ()
6. Si su respuesta fue sí, indique como la clasifica:
En diferentes contenedores de colores
Con diferentes tipos de bolsas
7. ¿Hace uso de aboneras orgánicas?
Sí () No ()
8. ¿Como recolectan la basura?
Municipal () Privada () otros____
9. ¿Cada cuánto tiempo recolectan su basura?
2 veces por semana () 1 vez por semana () otros____
Si su respuesta fue otros, indique:

10. ¿Cómo se deshace de su basura?

La quema () La entierra () Tira al río () Camión de recolección ()

11. ¿Cuenta con drenaje municipal?

Sí () No ()

Apéndice 2. Encuesta a industrias

Tipo de Industria: _____

1. ¿Qué tipo de desechos producen?

Orgánicos () Inorgánicos ()

Observaciones (detallar): _____

2. ¿Qué tipo de derechos producen en su mayoría?

Orgánicos () Inorgánicos ()

3. ¿Qué cantidad de bolsas (30 litros) de basura produce a diario o semanal?

4. ¿Cómo se deshace de la basura?

La quema () La entierra () Tira al río () Camión de recolección () Otros ()

Si seleccionó otros, detalle: _____

5. ¿Cómo recolectan la basura?

Municipal () Privada () Otro ()

Si seleccionó otro, detalle: _____

6. Cada cuánto tiempo recolectan su basura?

2 veces por semana () 1 vez por semana () Otros ()

Si seleccionó otros, detalle: _____

7. ¿Cómo califica el servicio de recolección?

Bueno () Regular () Malo

Observaciones: _____

8. Usted clasifica su basura?

No () Sí ()

9. Si su respuesta fue sí, indique cómo la clasifica:

10. ¿Hace uso de aboneras orgánicas?

Sí () No ()

Apéndice 3. Área de estudio zona 3 y 4

Se realizó la visita en campo del área en estudio para la toma de decisiones en la recolección de datos gráficos y alfanuméricos.



Apéndice 4. Puntos de control

Se establecieron 26 puntos de control para el ajuste de las fotografías tomadas por el vehículo aéreo no tripulado para la generación de ortofotomosaico.



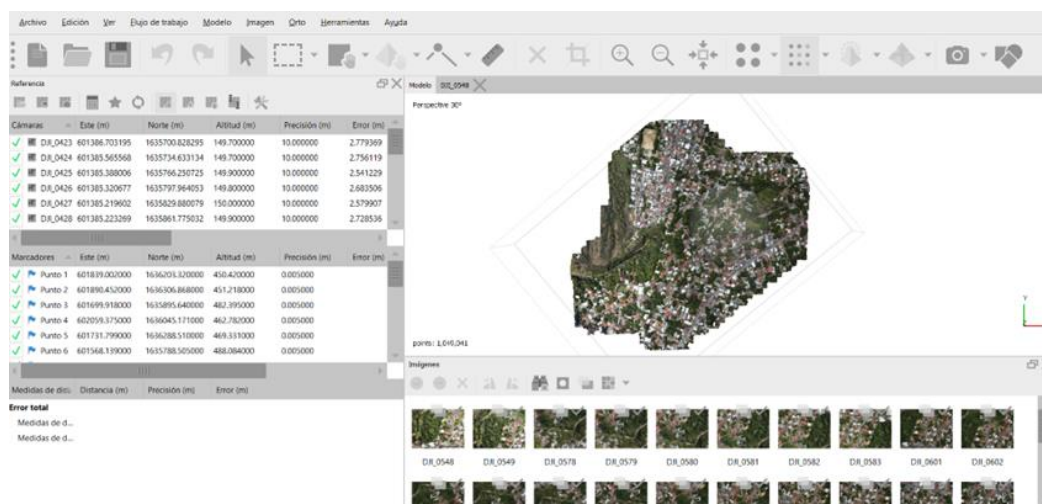
Apéndice 5. Vuelo de dron

Se realizó el vuelo con el vehículo aéreo no tripulado –drone- en la toma de 458 fotografías aéreas en una altura de 150 metros, con una extensión geográfica de 24.09 Ha.



Apéndice 6. Post proceso de ortofotomosaico

Se realizó el post proceso de las 458 fotografías aéreas obteniendo como resultado la ortofotomosaico, Modelo Digital de Elevación, Modelo Digital del Terreno y Curvas de nivel.



Apéndice 7. Catastro geo ambiental

Se realizó el inventario predial de 548 predios en el área de estudio que corresponde 305 predios de la zona 3 y 243 predios de la zona 4 de Chiquimula.





Apéndice 7. Mapeo de elementos contaminantes

Se realizó la visita en campo en el área de estudio, ubicando 29 vertederos no autorizados.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS EN LOS QUE TIRAN BASURA EN EL ÁREA DEL RÍO TACÓ		
Tipo de residuos	Descripción	Imagen
Desechos sólidos inorgánicos	Se identificaron 17 lugares en los que depositan basura inorgánica	
Desechos de materiales de construcción	Se identificaron 4 lugares en los que depositan desechos de construcción	
Desechos de aguas residuales	Se identificaron 8 viviendas que no cuentan con drenajes y estas desvían las tuberías de aguas residuales domésticas al río Tacó	









Apéndice 8. Noticias relacionadas con la contaminación del río

Se investigó a través de plataformas digitales para identificar las noticias relacionadas con la contaminación del río Tacó.

Toneladas de basura contaminan río que atraviesa Chiquimula

Las fuertes lluvias que se registraron en los últimos días en el oriente del país arrastraron gran cantidad de basura al río San José, el cual atraviesa la cabecera de Chiquimula y es considerado como el afluente más importante del departamento.

Por Mario Morales

22 de mayo de 2018 a las 20:05h

Guardar Compartir



Colapso de drenajes generó inundaciones en cinco viviendas de Chiquimula



Río Tacó derrumba casa en Chiquimula

Hombre es sorprendido cuando lanza basura al río Tacó

Un vecino de la cabecera de Chiquimula captó en video cuando un hombre lanzaba basura en el río Tacó, desde un puente en la zona 6 de esa localidad.

Por La Redacción / Chiquimula

14 de junio de 2018 a las 11:06h



Un sujeto es acompañado por un joven a un puente en la zona 6 de la cabecera de Chiquimula, donde lanzan basura hacia el río Tacó. (Foto Prensa Libre: El Gallo de Oriente)