

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**CARACTERIZACIÓN, FÍSICA, QUÍMICA, BACTERIOLÓGICA
Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS DEL
RÍO ARO, SECTOR PERAMANAL, MUNICIPIOS AUTÓNOMOS
HERES-SUCRE, ESTADO BOLÍVAR, AÑO 2013.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES FIGUERA A.,
GERMAIN DE J., Y MARCANO
MOGOLLON, JUAN DE J.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE GEOLOGO.**

CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO 2013.

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado intitulado “**CARACTERIZACIÓN, FÍSICA, QUÍMICA, BACTERIOLÓGICA Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RÍO ARO, SECTOR PERAMANAL, MUNICIPIOS AUTÓNOMOS HERES-SUCRE, ESTADO BOLÍVAR, AÑO 2013.**” presentado por los bachilleres **FIGUERA AFANADOR, GERMAIN DE JESÚS Y MARCANO MOGOLLÓN, JUAN DE JESÚS** ha sido aprobado, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:

Firma:

Profesor Amado Di Felice

(Asesor)

(Jurado)

(Jurado)

Profesora Rosario Rivadulla
Jefa de Departamento de Geología

Ciudad Bolívar, Junio de 2013

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por conferirme la vida, ser la guía de mis actos, brindarme la sabiduría e impulso para alcanzar todos mis objetivos.

A mis padres, Adela Afanador y Rodolfo Figuera por su apoyo incondicional, comprensión y amor en cada de mi vida y enseñarme a enfrentar y vencer.

A mis hermanos Karelis y Katherine con amor y cariño, los amo y quiero mucho.

Al profesor Amado Di Felice, por ayudarme y guiarme durante mi carrera universitaria, gracias.

A mis cuñados, César Figuera y Javier Salas, por sus consejos y gran amistad.

Figuera A., Germain de J.

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por haberme dado la capacidad, impulso para alcanzar el objetivo que siempre soñé.

A mis padres, Elba Mogollón y Carlos Marcano, por su apoyo incondicional que a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba, los quiero y amo mucho.

A mi novia, Alejandra Capella, por siempre brindarme su apoyo y amor.

A mis abuelos, José Mogollón, que no está presente, y Delia Mogollón que Dios le de vida.

Marcano M., Juan de J.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por ser mi fuerza, por darme todo lo que tengo y todo lo que soy, y no abandonarme en los momentos más difíciles de mi vida, por guiarme en cada paso para seguir luchando.

A la Universidad de Oriente por brindar el conocimiento mediante sus profesores para capacitarme y haberme abierto sus puertas para crecer personal y profesionalmente.

A mi Asesor Profesor Amado Di Felice, por su apoyo y colaboración en la realización de este Trabajo de Grado.

A mis padres Adela Afanador y Rodolfo Figuera por la confianza, apoyo y amor, por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A todos mis amigos y compañeros de estudios, especialmente a Marcano M., Juan de J., mi compañero en este Trabajo de Grado. Gracias a todos.

Figuera A., Germain de J.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por darme la sabiduría para saber enfrentar cada uno de los obstáculos que se me presentaron a lo largo de mi carrera.

A la Universidad de Oriente la casa más alta, por haberme abierto sus puertas y hacerme crecer persona y profesionalmente.

A mi tutor Amado Di Felice quien me oriento y aconsejo durante toda la carrera y el tiempo que duró este trabajo de grado.

A mis padres por concederme el don de la vida y siempre ser constantes guardianes de ella, por convertirse en ejemplo de constancia y perseverancia, por ser mis guías y eternos acompañantes, para ellos mi especial agradecimiento y admiración. Los amo.

A mi novia, Alejandra Capella, por su amor y apoyo siempre.

A mis amigos y compañeros de estudio por el apoyo a lo largo de mi carrera, en especial a mi compañero de Trabajo de Grado, Figuera A., Germain de J.

Marcano M., Juan de J.

RESUMEN

Este Trabajo de Grado tiene por objetivo determinar las características, Físicas, Químicas, Bacteriológicas y Cálculo del Índice de Calidad de las Aguas del río Aro, sector Peramanal, Municipios Autónomos Heres-Sucre, Estado Bolívar, año 2013. La cuenca del río Aro, es una vertiente del río Orinoco, y se encuentra ubicada entre los Municipios Heres y Sucre con 764 km². (El Municipio Sucre con 5968 km² y el Municipio Raúl Leoni con 6598 km²). El río Aro limita por el Norte con el río Orinoco, por el Este y el Sur con la cuenca del río Caroní y por el Oeste con la cuenca del río Caura y la cuenca del río Pao. El tipo de investigación enmarca aspectos descriptivos y analíticos. Para ello se seleccionaron cinco (5) estaciones de muestreo de suelo y cinco (5) de agua. A las muestras de sedimento se le realizaron análisis químicos y físicos. A las muestras de agua se les realizó los análisis físicos, químicos y bacteriológicos y se le determinó su Índice de Calidad del Agua (ICA). Los resultados de los análisis granulométricos y químicos a las muestras de sedimentos se comprobaron que predominan arenas de grano medio a fino, con texturas similares, prevaleciendo en general las arenas de grano medio, con un pico poco cerrado, y una uniformidad aceptable. Los análisis químicos de los sedimentos revelaron gran cantidad de minerales opacos, como el óxido de hierro, (hemetita, magnetita, ilmenita, pirita, entre otros.). En cuanto a los análisis de esfericidad y redondez de las partículas de sedimentos, se determinó que presentan formas que van desde angulosos a subredondeados, en todas las muestras tomadas en cada una de las estaciones. Para la Calidad del Agua, referente a los análisis de turbidez resultaron de (15-35 U.T.N.), el cual está por debajo del rango permitido en el Decreto Ejecutivo N° 883. Así mismo las temperaturas variaron entre cada Estación de (26 °C-28 °C). En relación a los parámetros químicos como el pH se encuentra en un rango de (6.83-6.86) unidades, la alcalinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, magnesio y calcio, del río Aro para el año 2013, variaron en el rango, lo cual califica a las aguas como del Tipo 1-Sub Tipo 1B, según el Decreto Ejecutivo N° 883. Por lo que pueden ser usadas en todas las formas e incluso aquellas que involucran el contacto directo con ellas, aunque se recomienda sean acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, para el consumo humano, lo cual concuerda con trabajos anteriores. Para efectos de los parámetros bacteriológicos del río Aro, los valores resultaron ausentes para los Coliformes fecales, excepto en la Estación No. 5 con valor de 2 NMP/100ml. Los Coliformes totales variaron de $1,4 \times 10^2$ NMP/100ml en la Estación No.1 a $2,5 \times 10^2$ NMP/100ml en las Estaciones No. 4 y 5, por debajo del valor permisible según el Decreto Ejecutivo N° 883. El Índice de Calidad del Agua (ICA) resulto un valor promedio de 63,43 Q para todas las estaciones, lo que permite afirmar que estas aguas son de CALIDAD MEDIA.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vii
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE APÉNDICES.....	xviii
LISTA DE ANEXOS.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	2
1.1 Situación objeto de estudio.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación de la investigación.....	5
1.5 Alcance de la investigación.....	5
1.6 Limitaciones de la investigación.....	6
CAPÍTULO II. GENERALIDADES.....	7
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	7
2.1.1 Municipios que conforman la cuenca del río Aro.....	7
2.1.1.1 Municipio Heres.....	7
2.1.1.2 Municipio Raúl Leoni.....	8
2.1.1.3 Municipio Sucre.....	8
2.1.2 Características demográficas y socioeconómicas.....	8

2.1.2.1 Hidrología.....	8
2.1.2.2 Accesibilidad.....	8
2.2 Características físicas y naturales del área de estudio.....	9
2.2.1 Clima.....	9
2.2.2 Vegetación.....	10
2.2.3 Suelos.....	11
2.2.4 Fauna silvestre.....	15
2.2.4.1 Mamífero.....	15
2.2.4.2 Aves.....	16
2.2.4.3 Reptiles.....	16
2.2.4.4 Peces.....	17
2.3 Características geológicas.....	17
2.3.1 Provincia Geológica de Imataca (Precámbrico temprano).....	20
2.3.2 Formación Mesa (Pleistoceno).....	26
2.4 Características geomorfológicas.....	32
 CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	 34
3.1 Antecedentes de la investigación.....	34
3.2 Procesos geológicos.....	35
3.3 Análisis granulométricos.....	36
3.3.1 Escala granulométrica.....	36
3.3.2 Curvas e histogramas.....	38
3.3.2.1 Histogramas.....	38
3.3.2.2 Curvas de frecuencia acumulativa.....	38
3.3.3 Descripción para la construcción de los gráficos.....	39
3.3.3.1 Histograma piramidal y curva de frecuencia simple.....	39
3.3.3.2 Curva de frecuencia acumulativa.....	39
3.3.4 Medidas estadísticas de los sedimentos.....	40

3.3.4.1	Diámetro medio (Md).....	40
3.3.4.2	Coefficiente de escogimiento (So).....	40
3.3.4.3	Coefficiente de sesgo o simetría (SK).....	42
3.3.4.4	Curtosis o agudez del pico (K).....	43
3.3.4.5	Coefficiente de uniformidad (U).....	43
3.4	Esfericidad y redondez de las partículas de sedimento clástico.....	44
3.4.1	Índice de esfericidad de los fragmentos clásticos.....	46
3.4.1.1	Esfericidad.....	46
3.4.2	Índice de redondez de los fragmentos clásticos.....	47
3.4.2.1	Redondez.....	47
3.4.3	Relación entre los índices de esfericidad y redondez.....	48
3.4.4	Determinación del grado de redondez de las partículas sedimentarias.....	49
3.4.4.1	Anguloso (0-0,15).....	50
3.4.4.2	Sub-anguloso (0,15-0,25).....	50
3.4.4.3	Sub-redondeado (0,25-0,40).....	50
3.4.4.4	Redondeado (0,40-0,60).....	51
3.4.4.5	Bien o muy redondeado (0,60-1,00).....	51
3.4.5	Determinación de la esfericidad de las partículas sedimentarias.....	55
3.4.5.1	Procedimientos y técnicas de estudio.....	57
3.5	Procedencia de la acumulación de las partículas de sedimento.....	58
3.5.1	Orientación de la acumulación.....	58
3.5.2	Presencia de carbonato de calcio.....	58
3.5.3	Minerales pesados.....	59
3.6	Calidad del agua.....	60
3.6.1	Parámetros que determinan la calidad del agua.....	61
3.6.1.1	Parámetros físicos.....	62
3.6.1.2	Parámetros químicos.....	63
3.6.1.3	Parámetros bacteriológicos.....	67
3.6.2	Índice de calidad del agua (ICA).....	68

3.6.3 Contaminación de las aguas.....	70
3.6.3.1 Efectos de la contaminación del agua.....	72
3.6.3.2 Definición de la contaminación de un curso de agua.....	73
3.6.4 Fundamentos legales.....	74
3.6.4.1 Legislación, factores estructurales.....	75
3.6.4.2 Normas que rigen sobre contaminación de cuerpos de agua, valores permisibles.....	76
 CAPÍTULO V. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	 78
4.1 Nivel de la investigación.....	78
4.2 Población de la investigación.....	78
4.3 Muestra de la investigación.....	78
4.4 Diseño de la investigación.....	79
4.5 Recopilación de la información.....	80
4.6 Descripción de la geología del área del río Aro.....	80
4.7 Descripción de la geomorfología del área del río Aro.....	81
4.8 Selección de los sitios para la toma de muestras.....	82
4.8.1 Muestreo de roca.....	82
4.8.2 Muestreo de sedimentos.....	82
4.8.3 Muestreo de aguas.....	82
4.9 Análisis de las muestras.....	83
4.9.1 Análisis físicos y químicos de los sedimentos.....	83
4.9.1.1 Análisis granulométricos.....	83
4.9.1.2 Análisis de esfericidad y redondez.....	83
4.9.2 Análisis para determinar características físicas, químicas y bacteriológicas del agua.....	84
4.9.3 Índice de Calidad de las Aguas (ICA).....	85
4.10 Elaboración del mapa geológico del área.....	85

5.5.2.12 Sólidos totales (ST).....	98
5.5.3 Parámetros bacteriológicos.....	99
5.5.3.1 Coliformes fécales.....	99
5.5.3.2 Coliformes totales.....	99
5.5.4 Índices de Calidad del Agua para los ríos según "The National Sanitation Foundation (NSF)", según Brown et al. (1970).....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
Conclusiones.....	101
Recomendaciones.....	105
REFERENCIAS.....	108
APÉNDICES.....	114
ANEXOS.....	160

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana destacando la Provincia Geológica de Imataca y su relación litotectónica con los cratones de Sudamérica y África (Adaptada de Sidder, A. y Mendoza, V. 1.995 y Martín, L. 1.972 en Mendoza, V. 2.000).....	19
2.2 Mapa geológico mostrando la extensión del Escudo de Guayana en el Norte de Sudamérica (Modificada de Ledru y Milesi, 1.994 en Mendoza, V. 2.000).....	20
2.3 Mapa geológico mostrando las edades (Sm/Nd) reconocidas para el protolito Complejo de Imataca (Modificada de Teixeira et al. 2.000 en Mendoza, V. 2.000).....	22
2.4 Extensión geográfica de la Formación Mesa (Modificada de PDVSA-Intevp, 1.999-2.001).....	27
3.1 a) Proyección de una partícula mostrando los radios de curvatura en cada esquina y el círculo máximo inscrito (para calcular su redondez); b) Proyección de una partícula yaciendo sobre su superficie mayor, mostrando el círculo mínimo circunscrito (para calcular su esfericidad) (Tomada de Guía de Redondez y Esfericidad de las Partículas del Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).....	52
3.2 Resistencia relativa a la abrasión de algunos minerales (en orden de creciente) (Modificada de Guía de Redondez y Esfericidad de las Partículas del Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).....	55
4.1 Flujograma de la metodología de la investigación.....	79

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Listado de las especies más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. 1991).....	12
2.2 Listado de las especies de la fauna silvestre más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana - Técnica Minera C.A. 1991).....	15
2.3 Listado de las especies de aves silvestres más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana - Técnica Minera C.A. 1991).....	16
2.4 Listado de las especies de reptiles más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. 1991).....	16
2.5 Listado de las especies de peces más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. 1991).....	17
2.6 Secuencia litotectónica de los eventos registrados en el Escudo de Guayana (Modificada de Sidder, A. y Mendoza, V. 1.995 en Mendoza, 2000, p. 45).....	23
3.1 Escala de Wentworth para clasificar las partículas de sedimentos clásticos según su tamaño (Adaptada de la Guía para Análisis Granulométrico del Dpto. de Geología UDO, 2001 y de la Clasificación de los Sedimentos por su Tamaño de Rouse, H. en Engineering Hydraulics, Nueva York, 1950 por Monsalve, V. 1999).....	37
3.2 Grados de redondez de las partículas sedimentarias (Tomada de Guía de Redondez y Esfericidad de las Partículas del Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2000; Herrera, J. 1998).....	50
3.3 Clasificación de la dureza en el agua (Blanco, L.,1.991; Aguirre, C. et al. 1.992).....	66
3.4 Índices de Calidad del Agua, ICA (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).....	70

3.5 Normas internacionales de agua potable límites para sustancias consideradas como tóxicas en el agua potable (Datos de la Organización Mundial de la Salud OMS en Blanco, L. 1991; Aguirre,C. et al.1992).....	73
5.1 Grados de redondez de las partículas sedimentarias que conforman los sedimentos presentes en el cauce del río Aro.....	90
5.2 Parámetros físicos medidos para lasaguas del río Aro, año 2013.....	94
5.3 Parámetros químicos obtenidos para las aguas del río Aro, año 2013.....	98
5.4 Parámetros bacteriológicos medidos en las aguas del río Aro, año 2013.....	99
5.5 Resumen de los Indices de Calidad de Aguas (ICA) obtenidos para el río Aro, año 2013.....	100

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A.TABLAS COMPLEMENTARIAS DE LOS CAPÍTULOS III Y IV.....	114
A.1 TABLAS DESDE LA 3.6 HASTA LA 3.15 (CAPÍTULO III). DECRETO EJECUTIVO No. 883 Y LÍMITES PERMISIBLES DE ELEMENTOS EN EL AGUA.....	116
A.2 TABLAS 4.1, 4.2 Y 4.3 (CAPÍTULO IV) QUE MUESTRAN UN RESUMEN DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE L RÍO ARO (MODIFICADA DE ABUD J. Y MORA, V. 2003).....	124
B. CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA CADA ESTACIÓN.....	134
Figura B.1 Curva granulométrica de los sedimentos recientes provenientes del río Aro (Estación 1, La Esperanza aguas arriba).....	135
Figura B.2 Curva granulométrica de los sedimentos recientes provenientes del río Aro (Estación 2, La Esperanza aguas abajo).....	136
Figura B.3 Curva granulométrica de los sedimentos recientes provenientes del río Aro (Estación 3, Santa María de Amoroso).....	137
Figura B.4 Curva granulométrica de los sedimentos recientes provenientes del río Aro (Estación 4, Puente sobre el río Aro).....	138
Figura B.5 Curva granulométrica de los sedimentos recientes provenientes del río Aro (Estación 5, Desembocadura).....	139

C. HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS DE REDONDEZ DE LAS PARTÍCULAS PARA CADA ESTACIÓN.....	140
Figura C.1 Redondez de las partículas en Estación 1.....	141
Figura C.2 Redondez de las partículas en Estación 2.....	142
Figura C.3 Redondez de las partículas en Estación 3.....	143
Figura C.4 Redondez de las partículas en Estación 4.....	144
Figura C.5 Redondez de las partículas en Estación 5.....	145
D. GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (THE NATIONAL SANITATION FOUNDATION NSF INTERNATIONAL.....	146
Figura D.1 Índice de calidad del agua obtenido para la Estación 1, tomada del río Aro, año 2013.....	147
Figura D.2 Índice de calidad del agua obtenido para la Estación 2, tomada del río Aro, año 2013.....	148
Figura D.3 Índice de calidad del agua obtenido para la Estación 3, tomada del río Aro, año 2013.....	149
Figura D.4 Índice de calidad del agua obtenido para la Estación 4, tomada del río Aro, año 2013.....	150

Figura D.5 Índice de calidad del agua obtenido para la Estación 5, tomada del río Aro, año 2013.....	151
E. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS POR CENTRO DE GEOCIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE A LAS MUESTRAS DE AGUAS RECOLECTAS EN LOS POZOS Y SEDIMENTOS.....	152
E.1 Análisis Físicos, Químicos, Bacteriológicos e Índice de Calidad de las Aguas en los pozos (ICA).....	153
E.2 Análisis Morfoscopico de Las partículas de los sedimentos (Esferidad y Redondez).....	158

LISTA DE ANEXOS

1 MAPA TOPOGRÁFICO DEL RÍO ARO

2 MAPA GEOLÓGICO DEL RÍO ARO

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de Grado se realizó en el río Aro, sector Peramanal, Municipios Autónomos Heres-Sucre, Estado Bolívar, durante los meses de Noviembre de 2012 a Mayo de 2013, para determinar las características, físicas, químicas, bacteriológicas e Índice de Calidad (ICA) de las aguas y además, las características de los suelos mediante ensayos granulométricos y ensayos de redondez-esfericidad para clasificarlos según su tipo e inferir sobre su origen.

El estudio geológico y de los aspectos geomorfológicos se realizaron en un área que abarca parte de los Municipios, Heres con 764 km² que representa el 13,06 % , Sucre con 5968 km² que representa el 12,93 % y Raúl Leoni con 6598 km² que representa el 12,13%, para construir el mapa geológico de la zona y la ubicación en él de las estaciones de muestreo de las aguas y suelos con la ayuda de hojas de radar e integración de datos preexistentes de mapas topográficos del Sector Peramanal y la interpretación de imágenes de sensores remotos conjuntamente con la caracterización en base a datos de geología, geomorfología, vegetación y suelos de la zona.

El trabajo quedó estructurado de la siguiente manera: Capítulo I, donde se describe la situación a investigar, el planteamiento del problema y el objetivo general y los objetivos específicos, la justificación de la realización de este trabajo, su alcance y limitaciones. El Capítulo II, contiene las generalidades a saber, ubicación del área de estudio, acceso, geología, geomorfología, vegetación, clima, etc. En el Capítulo III, se describe el marco teórico donde se definen los antecedentes y variables teóricas utilizadas. El Capítulo IV, menciona la Metodología, el Capítulo V, muestra el análisis e interpretación de los datos. Finalmente, se elaboraron las conclusiones, recomendaciones, referencias, apéndices y anexos.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Situación objeto de estudio

El agua es el comportamiento principal de la materia viva constituye del 50 al 90% de la masa de los organismos vivos. Es característicamente esencial su gran polaridad, la cual permite disolver otros compuestos polares de acuerdo al enorme número de sustancias que existen, se consideran que es casi imposible encontrar agua pura, puesto que siempre contienen algún elemento extraño.

El problema de la contaminación de las aguas que deteriora o altera su calidad puede clasificarse según su situación geográfica, localización y procedencia en aguas domésticas agrícolas, fluviales, industriales y marítimos.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

Agentes infecciosos.

Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

Productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensas activas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.

Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.

Minerales inorgánicos y compuestos químicos.

Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.

Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.

El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen. En el otro extremo, los cursos de agua que discurren sobre substratos cristalinos, como los granitos, se cargarán muy poco de sales, y aparecerá en cantidad apreciable la sílice.

1.2 Planteamiento del problema

La necesidad de agua dulce en la zona del sector Peramantal, Municipios Autónomos Heres-Sucre, Estado Bolívar, proveniente del río Aro, única fuente de abastecimiento en esa localidad, ha aumentado considerablemente debido a las actividades y aprovechamiento agrícola desarrolladas por sus habitantes. En presencia de la constante contaminación local y escases del recurso hídrico producto

de las prolongadas sequías en meses anteriores, se realizaron estudios con la finalidad de interpretar la geología local, clasificar los suelos presentes e identificar la calidad del agua como punto principal ya que las intensas lluvias han incrementado el cauce del río y por ende su aprovechamiento.

Las cuencas, riberas o entornos de los espacios naturales han sido invadidos por la actividad humana, existiendo en los sectores circundantes viviendas, el cual le han ganado terreno a los ríos, cuyos habitantes arrojan desperdicios a orillas de estos; además de las actividades agrícolas y mineras, donde mucho de los minerales que se desprenden de allí alteran las condiciones de las aguas, igualmente que disponen las aguas servidas de criaderos de aves y de cochineros que van directamente al río a través de canalizaciones especiales.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Realizar la caracterización, Física, Química, Bacteriológica y Cálculo del Índice de Calidad de las Aguas del río Aro, sector Peramanal, Municipios Autónomos Heres-Sucre, Estado Bolívar, año 2013.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Describir las características físicas, naturales y la geomorfología del área de estudio.
2. Determinar las características granulométricas de los suelos, la esfericidad y redondez de sus partículas, presentes en el área de estudio.

3. Caracterizar física, química y bacteriológicamente las aguas del río Aro.
4. Calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Aro.
5. Determinar la presencia de minerales pesados en las muestras de cada estación.
6. Elaborar los mapas topográfico y geológico del río Aro, Sector Peramanal, señalando las estaciones para la toma de muestras de aguas y suelos.

1.4 Justificación de la investigación

El crecimiento poblacional y el desarrollo agrícola en las zonas adyacentes al río Aro, ha requerido de una mayor utilidad y consumo de agua, requiriéndose hacer estudios periódicos que permitan conocer los niveles de contaminación y su calidad, con el objeto de evitar enfermedades a los habitantes.

La recopilación de información, actualización de datos y evaluación de parámetros ambientales de la cuenca del río Aro, son de importancia para lograr estos objetivos, así como también concientizar a la población sobre el uso racional y sustentable de las aguas de esta cuenca.

1.5 Alcance de la investigación

Estudiar las características , físicas, químicas , bacteriológicas e Índice de Calidad de las aguas del río Aro, sector Peramanal, Municipios Autónomos Heres-Sucre, Estado Bolívar, año 2013, para evitar futuras fuentes de contaminaciones y si puede ser consumida por los seres humanos, si puede ser utilizada para riegos agrícolas sin ningún tratamiento de potabilidad o si es necesario el mismo.

1.6 Limitaciones de la investigación

1. La inseguridad existente en la zona y el cercado de varias secciones del río Aro por parte de los habitantes de la zona imposibilita el acceso total.
2. Las insuficiencias presupuestarias al momento de la investigación.
3. La carencia de curiaras de alquiler para el traslado por vía fluvial.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

La cuenca del río Aro, está ubicada entre los paralelos 6° 10' y 8° 00' de Latitud Norte y 63° 15' y 64° 45' de Longitud Oeste y es una vertiente del río Orinoco la cual desemboca en el océano Atlántico. Políticamente, abarca parte de los Municipios Heres, con 764 km², que representa el 13,06 % del Municipio, Sucre con 5968 km² que representa el 12,93 % y Raúl Leoni con 6598 km² que representa el 12,13% del municipio.

La cuenca del río Aro, limita por el Norte con el río Orinoco, por Este y Sur con la cuenca del río Caroní, por el Oeste con la cuenca del río Caura y la cuenca del río Pao. Drena una superficie de 14.574 Km², en un longitud del cauce principal 275 Km.

2.1.1 Municipios que conforman la cuenca del río Aro

La Cuenca del río Aro, está conformada por parte de los siguientes Municipios: Heres, Raúl Leoni y Sucre, que están divididos en parroquias, de las cuales caen en la cuenca del río Aro las siguientes:

2.1.1.1 Municipio Heres

Abarca una superficie que abarca 764 km², que representa el 13,06% de la Parroquia Zea, capital La Carolina (no incluida en la Cuenca) y el 5,73 % del área total de la cuenca.

2.1.1.2 Municipio Raúl Leoni

Con 6598 km² que representa el 12,13% de las Parroquias: sección capital Raúl Leoni, cuya capital es Ciudad Piar y San Francisco, capital San Francisco y el 49,50 % del área total de la cuenca. En la que se encuentran ambas capitales.

2.1.1.3 Municipio Sucre

Con 5968 km² que representa el 12,93 % de la Parroquia Moitaco, capital Moitaco (no incluida en la Cuenca) y el 44,77 % del área total de la cuenca.

2.1.2 Características demográficas y socioeconómicas

En los municipios presentes se observan rasgos socioeconómicos y culturales muy heterogéneos, manifestándose características propias de población criolla e indígena, asentadas en centros rurales dispersos.

2.1.2.1 Hidrología

Sus principales afluentes son los ríos Carapo, Ariza y Chorro Macho y dispone de un patrón de drenaje de sub-paralelo a paralelo con un mayor desarrollo en su margen derecha de forma dendrítica con un escurrimiento total medio anual de 180 m³/seg.

2.1.2.2 Accesibilidad

El acceso al área de estudio puede ser a través de carreteras, vías asfaltadas a caminos de tierra, aproximadamente desde el caserío La Esperanza hasta Peramanal, de igual manera el área se reconoce por vía fluvial. Hacia la desembocadura es muy

difícil el acceso, debido a que los caminos se encuentran muy deteriorados y son principalmente de tierra y barro, en temporada de máxima precipitación también dificulta el acceso a la misma por vía fluvial.

2.2 Características físicas y naturales del área de estudio

2.2.1 Clima

La cuenca del río Aro, cuenta con registros hidrométricos en un solo punto, producto de las mediciones efectuadas en la estación de La Hornalilla (información recabada por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales). En líneas generales los parámetros que definen el clima de la cuenca del río Aro, tales como la precipitación y la temperatura presentan la siguiente distribución espacial:

La pluviosidad disminuye de Sur a Norte desde 2500 mm. En las nacientes del río Aro hasta llegar a los 1000 mm. En la zona de su desembocadura en el río Orinoco.

Los valores de temperatura media anual más bajos se localizan (algo menos de 24 °C) en el cerro San Isidro y las más altas ocurren en la parte más baja de la cuenca, específicamente en las riberas del río Orinoco, cercana a la desembocadura del río Aro.

En el área de la cuenca del río Aro, pueden observarse cuatro tipos de zonas de vida, de acuerdo con la clasificación climática de Holdridge:

Una zona de Bosque Seco Tropical (Bs-T), que se encuentra en la parte Norte del área, la cual va desde la desembocadura del río Aro en el Orinoco, hasta los alrededores de la confluencia con el río Carapo y también se observa en la zona

más Oriental de la cuenca, específicamente en la parte alta del área drenada por el río Carapo. En esta zona de vida, la precipitación varía entre 1100 y 1500 mm/año y la temperatura media anual oscila entre 24 y algo más de 27,5 °C.

Existe una franja de transición entre el bosque seco Tropical y el bosque húmedo Premontano, que atraviesa la cuenca del Aro de oeste a sureste. Esto corresponde a la parte baja de la subcuenca del río Arisa y gran parte del área drenada por el propio río Aro, en el tramo que va poco después de su confluencia con el río Chorro macho hasta antes de su encuentro con el río Carapo. En esta zona la pluviosidad varía entre los 1500 y los 1900 mm anuales y la térmica promedio se encuentra entre los 26 y 25 °C.

Bordeando la faja anterior se observa una zona de transición entre el bosque seco tropical y el bosque húmedo tropical. Esta pequeña zona recibe una precipitación en su parte Norte entre 1500 y 1700 mm anuales y en el Sur está entre 1900 y 2000 mm/año; la temperatura se mantiene igual que en la zona descrita anteriormente.

2.2.2 Vegetación

En la cuenca del río Aro, se distinguen las formaciones boscosas, arbustivas y herbáceas.

En altitudes de hasta 500/700 msnm. y en zonas con temperaturas > 24 °C (Zona macrotérmica) se presentan los bosques de carácter deciduos, semideciduos y siempreverdes.

Los bosques de carácter deciduos y semideciduos (bosques tropófilos) son propios de zonas con alternancia de un periodo seco más o menos pronunciado y otro periodo lluvioso, tales como los bosques ubicados hacia el sector oriental y en el

sector centro–norte de la cuenca; estos bosques son generalmente de porte bajo hasta de mediana altura (15-25 m.), medianamente densos hasta ralos y se encuentran intervenidos productos de actividades agropecuarias y madereras. Hacia estos sectores también se encuentran las formaciones herbáceas y arbustivas; las primera representadas por extensas sabanas gramíneas arboladas y/o arbustivas, el elemento gramíneo representada por la paja peluda (*Trachypogon plumosus*) y el elemento arbóreo y/o arbustivo por individuos de *Curatella americana*, *Bowdichia virgilioides*, *Byrsonima crassifolia*, *roupala montana* como especies dominantes. Las formaciones arbustivas, están representadas por matorrales las cuales son un tipo de vegetación de porte bajo y mayormente de origen secundario que se establecen donde ha habido cierta intervención de origen antrópico.

Los bosques ombrófilos macrotérmicos, siempreverdes, son característicos de zonas con abundancia hasta exceso de agua pluvial y con un período seco muy corto (2 –3 meses secos). Ocurren desde la parte media de la cuenca extendiéndose hasta el sur en la serranía de Pará. Estos bosques generalmente son de altura comprendida entre 15 –25 m, densos a medianamente densos, de buen porte y desarrollados en paisajes de lomeríos, peniplancies y planicies. Por otra parte bajo condiciones limitativas de sustrato y posición geomorfológica se desarrollan bosques bajos (< 15 m.); en zonas aledañas en la parte alta del río Chorro Macho y sobre suelos arenosos ocurren pequeñas formaciones de sabanas arbustivas que se presentan como inclusiones dentro de una matriz boscosa en paisaje de planicie.

Las especies más frecuentes en la cuenca del río Aro, sector Peramanal se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Listado de las especies más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana -Técnica Minera C.A. 1.991).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Aceituno	<i>Agonandra brasiliensis</i>
Algarrobo	<i>Hymenaca courbaril</i>
Caimito	<i>Pouteria auratum</i>
Cañafístula	<i>Cassia moschata</i>
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>
Flor amarilla	<i>Tabebuia chrysantha</i>
Flor morada	<i>Lacaranda superba</i>
Guarataro	<i>Vitex orinocensis</i>
Guásimo cimarrón	<i>Lucea candida</i>
Guácimo	<i>Guazuma Ulmifolia</i>
Laurel	<i>Ocotea glomerata</i>
Mahoma	<i>Lonchocarpus margarintesis</i>
Maro	<i>Trattinickia rhoifolia</i>
Pardillo	<i>Cordia alliodora</i>
Pata de Danto	<i>Sterculia apetala</i>
Pilón	<i>Andira inermis</i>
Pionio	<i>Ormosia paraensis</i>
Aceite	<i>Copaifera officinalis</i>
Mureillo-Canelo	<i>Erisma uncinatum</i>
Puy	<i>Tabebuia serratifolia</i>
Salado	<i>Vochisia venezuelana</i>
Sun sun	<i>Didymopanax morototonii</i>
Yopo	<i>Piptadenia peregrina</i>
Zapatero	<i>Peltogyne porphyrocardia</i>

2.2.3 Suelos

En la cuenca del río Aro predominan suelos de los ordenes ultisoles, entisoles; y en menor proporción se encuentran alfisoles e inceptisoles, según estudios realizados en esa área por C.V.G.-TECMIN (1991).

Los ultisoles, son muy evolucionados y se caracterizan por la presencia de un horizonte argílico o un kándico, y por poseer arcillas de baja actividad como caolinita y sesquióxidos de hierro y aluminio. Se han desarrollado a partir de rocas pertenecientes a las Provincias Geológicas Pastora e Imataca; así como a partir de sedimentos aluviales. Se encuentran en bioclimas tropófilo y ombrófilo macrotérmico; y en paisajes de tipo montaña, lomerío, peniplanicie y planicie. Son moderadamente profundos a profundos; con fuerte desarrollo estructural; de textura ligera a pesada, mezclada con proporciones variables de fragmentos de rocas. En general son muy ácidos a extremadamente ácidos (pH H₂O 1:1, 3.5-5); con baja a muy baja capacidad de intercambio catiónico (3-10 Cmol/Kg. Suelo); y muy baja saturación con bases (5% - 13%).

Estos suelos fueron agrupados en cuatro subórdenes, de acuerdo con la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1990), debido a que ocurren en diversos ambientes bioclimáticos de la cuenca; y a que presentan diferencias en sus características físicas y químicas, específicamente se encuentran los subórdenes Ustults, Udults, Umults y aquults. Los Ustults y Udults se localizan en bioclimas tropófilo macrotérmico y ombrófilo macrotérmico, respectivamente. Pueden ocurrir en cualquier tipo de paisaje. Los Umults se encuentran en bioclimas ombrófilo macrotérmico, pero no son reportados en las planicies. Los Aquults están asociados a las planicies y los relieves de vegas, independientemente del bioclima.

Los entisoles están espacialmente asociados a los ultisoles, sin embargo, no presentan evidencias de evolución pedogenética. Lo cual puede deberse, por una parte, a que ocupan área de altas pendientes, sometidas a fuertes procesos erosivos que han interrumpido su proceso evolutivo. En las planicies han evolucionado a partir de sedimentos aluviales con altos a muy altos contenidos de arena y muy poca arcilla. Esta ha sido translocada hacia las capas más profundas, resultando perfiles con predominio de texturas arenosas, sin desarrollo pedogenético. Son superficiales

a profundos; de textura ligera a media, mezcladas con proporciones diferentes de fragmentos de rocas. En general son muy ácidos a moderadamente ácidos (pH 1: 1 H₂O, 4.8-5.4); y con baja a muy baja capacidad de intercambio catiónico (0.7- 3.1 Cmol/Kg. Suelo).

En el área de estudio predominan los subórdenes Orthents y Psamments. Los primeros se localizan en las montañas y lomeríos; mientras que los Psamments se encuentran en las planicies.

Los alfisoles al igual que los ultisoles son suelos muy evolucionados, y presentan un epipedón Argílico o un Kándico. Se han desarrollado a partir de rocas de la Provincia Geológica Pastora, específicamente del subgrupo pastora y el Complejo de Supamo. Se encuentran en ambientes bioclimáticos tropófilos macrotérmico y en paisajes de tipo lomerío y Peniplanicie. Son moderadamente profundos a profundos; de textura media a pesada, generalmente mezclada con frecuentes fragmentos de rocas. Son algo excesivamente a excesivamente drenados.

Estos suelos son de reacción moderadamente a ligeramente ácida (pH: H₂O 1:1, 5.5-6.5), presentan baja a moderada capacidad de intercambio catiónico (7 – 13 Cmol/Kg. Suelo) y moderada a alta saturación con bases (44% -70%). Para la Cuenca del río Aro solamente se reporta el suborden Ustalfs.

Los inceptisoles son los que ocupan la menor cantidad de área en la cuenca del río Aro. Muestran un desarrollo evolutivo moderado, evidenciado por la presencia de un horizonte umbrico y/o un endopedón cámbico. Estos suelos evolucionaron a partir de sedimentos aluviales del cuaternario reciente. Se localizan en las planicies, bajo condiciones bioclimáticas tipo tropófilo macrotérmico. Son profundos, de textura media con alto contenido de limo; y pobremente drenados. Los inceptisoles que se encuentran en el área de estudio, pertenecen al suborden Tropepts.

2.2.4 Fauna silvestre

La fauna silvestre, por sus múltiples valores, económicos, ecológicos, y culturales constituye un recurso natural renovable de considerable importancia para el área de la cuenca del río Aro.

2.2.4.1 Mamíferos

Las especies de la fauna silvestre más frecuentes en la cuenca, se muestran en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 Listado de las especies de la fauna silvestre más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana, Técnica - Minera C.A. 1.991).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Vaquiroy	Tayaso pecarí
Chácharo	Dicotyles tajaco
Venado	Odocoileus virginianus
Danto	Tapirus terrestres
Lapa	Agouti paca
Picture	Agouti paca
Oso Hormiguero	Mymercophaga tridáctila
Cunaguaro	Felis (leopardus) percales
Cachicamo	Dasipus novecinustus
Conejo	Sylvilagus brasiliensis
Zorro	Felis cerdorción thous
Rabipelado	Didelphys marsupiales
Mono Araguato	Alouatta geniculus
Chigüire	Hydrochoerus hydrochaerus

2.2.4.2 Aves

Las especies de aves silvestres más frecuentes en la cuenca, se muestran en la tabla 2.3:

Tabla 2.3 Listado de las especies de aves silvestres más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana, Técnica-Minera C.A. 1.991).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Paloma Chaparrera	Zenaida auriculata
Gavilán	Falco sparverius
Oripopo	Carhartes aura
Gallito de Laguna	Jacana Jacana
Loro Real	Amazona ochrocephala
Carapaico	Ara severa
Zamuro	Caragyps atratus
Guacamaya Roja	Ara chloroptera

2.2.4.3 Reptiles

Las especies de reptiles más frecuentes en la cuenca, se muestran en la tabla 2.4:

Tabla 2.4 Listado de las especies de reptiles más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana, Técnica-Minera C.A. 1.991).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Morrocay	Geochelone carbonaria
Iguana	Iguana Iguana
Terecay	Podocnemis unifilis
Baba	Caimán cocodrilos
Tragavenado	Boa constrictor
Cascabel	Crotalus durisiss terrificus
Anaconda	Euneetes unifilis

2.2.4.4 Peces

Las especies de peces más frecuentes en la cuenca, se muestran en la tabla 2.5:

Tabla 2.5 Listado de las especies de peces más frecuentes en la cuenca del río Aro (Corporación Venezolana de Guayana, Técnica- Minera C.A. 1.991).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Coposito	<i>Prochilodus mavaie</i>
Morocoto	<i>Praractus braechiporrus</i>
Caribito	<i>Señasalmus nateri</i>
Temblador	<i>Electrophorus electricus</i>
Pavoneta	<i>Cihela orinocengis</i>

2.3 Características geológicas

El área de estudio se encuentra enmarcado en el Escudo de Guayana, el cual forma parte del Cratón Amazónico y del Oeste de África, ambos del Precámbrico, y que se continúa en las Guayanas y en la parte noroeste de Colombia con unidades litoestratigráficas, metamorfismos y depósitos minerales similares (Mendoza, V. 2.000) (Figura 2.1).

En Venezuela el Escudo de Guayana comprende los territorios de los estados Bolívar (239.250 Km²), Amazonas (178.895 Km²) y una parte al Sur del estado Delta Amacuro (6.855 Km²). Fisiográficamente se extiende aproximadamente por unos 425.000 Km², por lo que abarca casi el 50% del territorio venezolano (Herrera y León, 1997).

El límite norte del Escudo de Guayana en Venezuela lo representa el curso del río Orinoco, que lo separa de la región de los llanos venezolanos; al Sur la frontera con Brasil; al Este el río Esequibo, frontera con Guyana, y al Oeste la frontera con Colombia formada por el curso del río Orinoco, entre las desembocaduras del río Meta y del Guaviare y parcialmente por el curso de los ríos Atabapo, Guainía y Negro hasta la población de San Simón de Cocuy (Herrera, J. y León, R. 1.997) (Figura 2.1).

Cuatro provincias geológicas conforman el Escudo de Guayana en Venezuela, a saber: Imataca (cinturón granulítico), Pastora (cinturón de rocas verdes, CRV), Cuchivero-Amazonas (granitos de 1.800 m.a. \pm 200 m.a. y granitos post-tectónicos de 1.500 m.a.) y Roraima (cobertura sedimentaria discordante sobre rocas pertenecientes a las provincias de Pastora y Cuchivero) (Mendoza, V. 2.000; González de Juana et al. 1.980) (Figura 2.2).

Estas provincias se diferencian en sus direcciones estructurales, estilos de deformación tectónica, asociaciones litológicas y metalogénicas, y edades.

Sin embargo, en la planicie de desborde del río Aro se observan sedimentos del Reciente producto de la actividad fluvial propia de este río; y la Provincia Geológica de Cuchivero representadas por dos unidades litológicas: una representada por rocas piroclásticas ácidas, y la otra por rocas del Grupo Cuchivero sin diferenciar. Los sedimentos recientes están constituidos por fracciones minerales, procedentes de la meteorización de rocas más antiguas, que han sido transportados por distintos diversos medios, entre los cuales tenemos, el viento a través de la acción de corrientes de aire y el agua a través de la escorrentía y mediante la corriente del propio río Aro.

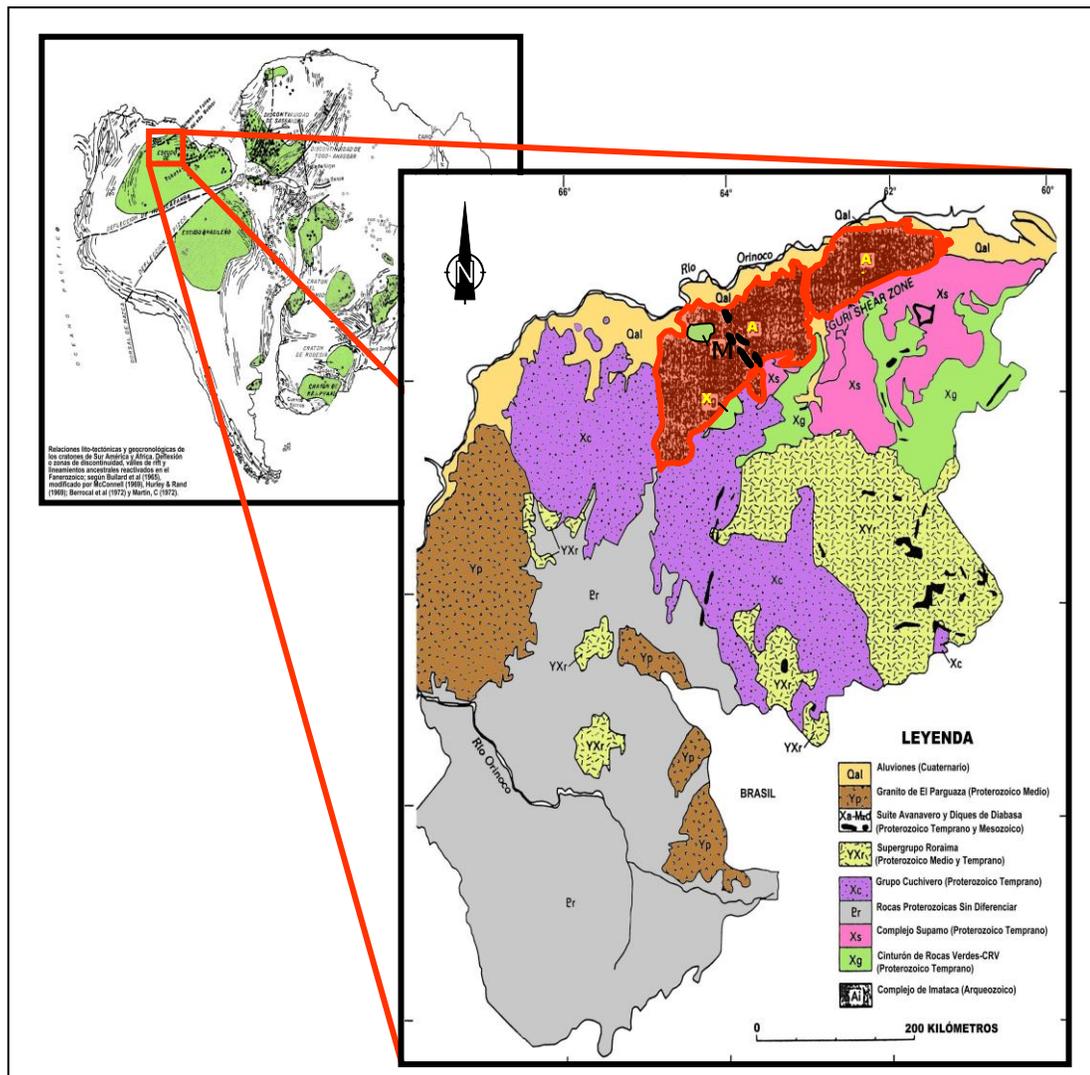


Figura 2.1 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana destacando la Provincia Geológica de Imataca y su relación litotectónica con los cratones de Sudamérica y África (Adaptada de Sidder, A. y Mendoza, V. 1.995 y Martín, L. 1.972 en Mendoza, V. 2.000).

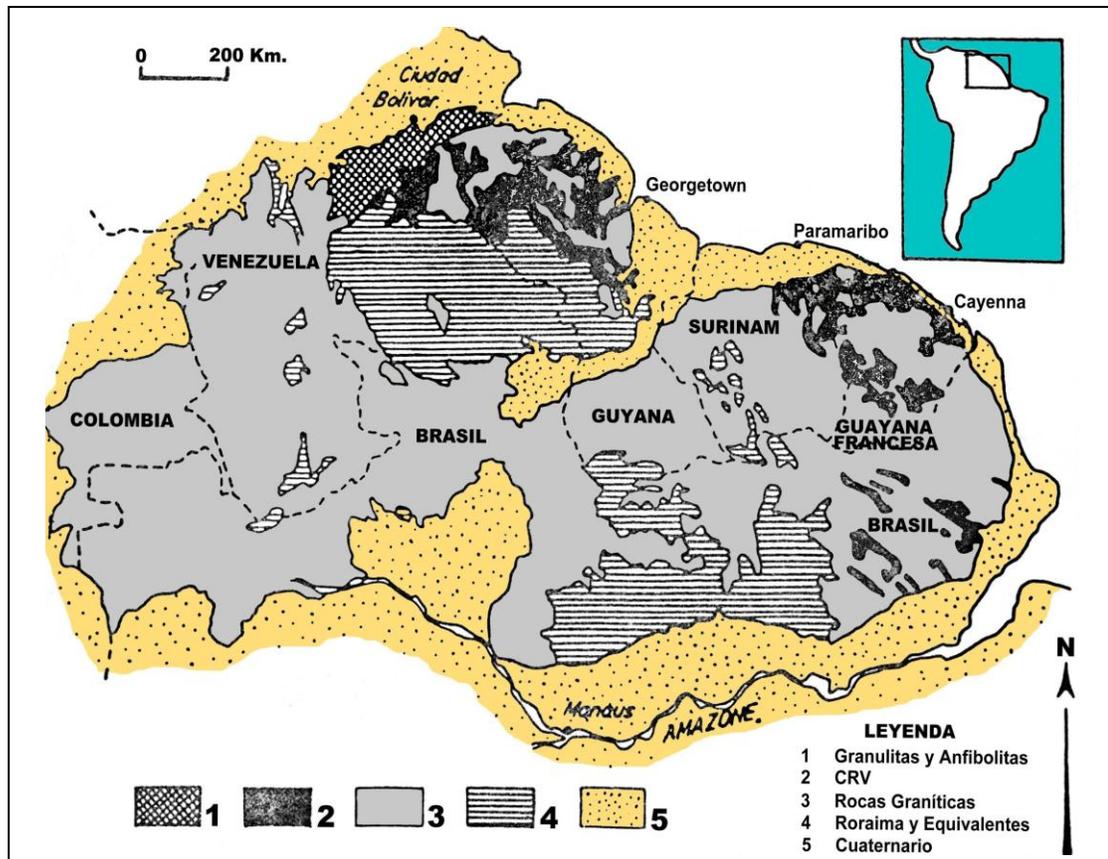


Figura 2.2 Mapa geológico mostrando la extensión del Escudo de Guayana en el Norte de Sudamérica (Modificada de Ledru y Milesi, 1994 en Mendoza, V. 2.000).

Las cuatro unidades estratigráficas anteriores se encuentran bien diferenciadas, y de la más antigua a la más joven son:

2.3.1 Provincia Geológica de Imataca (Precámbrico temprano)

Ocupa una faja angosta que se extiende por unos 550 Km. de longitud en dirección Suroeste-Noreste desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco donde queda cubierta bajo los sedimentos de éste; y en dirección Noroeste-Sureste

aflora por unos 80 Km. de ancho desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Guri (Menéndez, V.A. 1.968 citado en Corporación Venezolana de Guayana, Técnica Minera C.A. 1.991; Mendoza, V. 2.000).

Asociaciones litológicas: en la Provincia de Imataca se observan un variado número de asociaciones litológicas que incluyen cinturones de rocas verdes, migmatitas y granulitas (Cordani et al., 2.000 y Tassinari et al., 2.000 citados por Mendoza, V. 2.000), metasedimentos y gneises graníticos e intrusiones de granitos posteriores (González de Juana et al., 1.980). Esta asociación de rocas y la diversidad-complejidad de las estructuras geológicas incluidas dentro de esta provincia es lo que se denomina Complejo de Imataca. En general, la provincia está formada litológicamente por gneises graníticos y granulitas félsicas (cubriendo entre 60-75% de la provincia), anfibolitas y granulitas máficas y ultrmáficas (15-20%) y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (*banded iron formation*, BIF), dolomitas, charnockitas, anortositas, granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales poco metamorfizados y más jóvenes de CRV-TTG gnéisicos (El Torno-Real Corona) (Mendoza, V. 2.000).

Contactos litológicos: el contacto inferior del complejo se desconoce, sin embargo algunos autores (Kalliskoski, J. 1.965-a, b y Menéndez, V.A. 1.994 citados en PDVSA-Intevep, 1.999-2.001) especulan con la posibilidad de que el complejo formó parte del basamento de la secuencia supracortical de los cinturones de rocas verdes, tanto de la Provincia Geológica de Pastora como de Imataca, pero no existe evidencia de campo que soporte este hecho.

El contacto superior de la provincia es discordante con la Formación Mesa y sedimentos recientes (PDVSA-Intevep, 1.999-2.001).

Edad: la edad del protolito de Imataca ha sido estimada en 3.500-3.600 m.a. (por Rb/Sr y U/Pb), y que puede corresponder con la edad de las rocas originales previas al metamorfismo (Montgomery et al. 1.977 citado en PDVSA-Intevep, 1.999-2.001).

La tabla 2.6 y la figura 2.3 muestran los periodos en los que las rocas de Imataca han sufrido rejuvenecimiento y movilización parcial originando emplazamiento de cuerpos intrusivos y desarrollo de zonas migmatíticas (PDVSA-Intevep, 1.999-2.001).

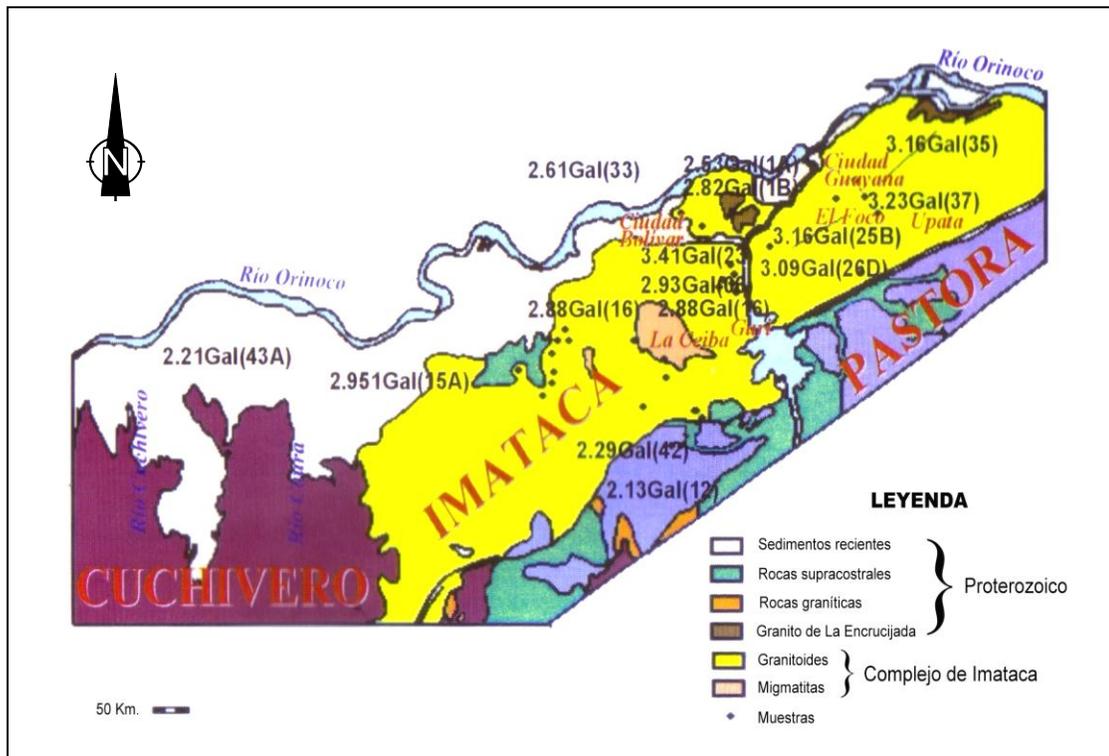


Figura 2.3 Mapa geológico mostrando las edades (Sm/Nd) reconocidas para el protolito Complejo de Imataca (Modificada de Teixeira et al., 2.000 en Mendoza, V. 2.000).

Tabla 2.6 Secuencia litotectónica de los eventos registrados en el Escudo de Guayana (Modificada de Sidder A. y Mendoza, V. 1.995 en Mendoza, V. 2.000, p.45).

Evento Mundial	Edad (m.a.)	Eventos Geológicos	
	< 1	Formación Mesa.	
Planación	Cenozoico	Levantamiento, erosión, planación.	
Nuevo océano	210-200	Apertura Océano Atlántico: después de la Orogénesis Herciana con ciclos de Wilson de 200 m.a. se separa el Supercontinente Pangea en bloques continentales y comienza a formarse el Océano Atlántico / intrusión de diques de rocas gabroides a norítico-diabásicas en Imataca / Falla de Guri actuando como una falla de transformación en la parte oceánica y como una falla transcurrente en la parte continental.	Dique Laguna, magmas toleíticos
Collage	500-350	Supercontinente Gondwana-Laurentia (Pangea).	
Kimberlitas	850-550	Orogénesis Brasiliana-Panafricana: al final de este evento, mejor desarrollado al SE de Brasil, Cratón San Francisco y África occidental, se forma otro nuevo supercontinente: Gondwana (550-450 m.a.), como la parte sur del Supercontinente Pangea / gran cantidad de pegmatitas y aplitas intrusitas en Imataca con edades probables de las orogenias Nickeriana y Brasiliana.	Supercontinente Gondwana
	850-750	Rifting Supercontinente Rodinia: reactivación de grandes fallas y cruces de fallas, a través de las cuales se emplazaron complejos carbonáticos (Cerro Impacto), lamprófiros del Neoproterozoico (850 m.a.) y kimberlitas eclogíticas (710 m.a.) de Quebrada Grande, Guaniamo.	
Collage	1.100 ± 100	Orogénesis Nickeriana-Grenvilliana: cierre de los mares / nueva colisión de placas y aglutinamiento de bloques durante el Mesoproterozoico (1.200-1.000 m.a.) / milonitización y reactivación de fallas como la de Guri / FEV, metamorfismo retrógrado / esta orogénesis equivale en tiempo a la Orogénesis Grenville cuya fase final de colisiones múltiples y aglutinamientos condujo a la formación del supercontinente de Rodinia hace 1.000 m.a.	Supercontinente Rodinia
		Seudotakilitas Falla de Guri.	
		Jari-Falsino (Brasil)-Mitu-Garzón (Colombia).	

Continuación de Tabla 2.6			
Granitos Rapakivis	1.500 ± 50	Parguazensis: granito rapakivi de El Parguaza / disrupción mayor del gran Supercontinente Atlántica-Caura durante el Mesoproterozoico (1.550-1.350) con el emplazamiento de material del manto a la corteza; la mezcla o contaminación con material basal-costral granulítico-charnockítico del tipo Complejo de Imataca y la posterior diferenciación de este magma hídrido o contaminado da origen a los granitos rapakivis de El Parguaza, Surucucú y equivalentes / desarrollo de pequeños mares con sedimentación de rocas carbonáticas-dolomíticas y algunas sedimentarias samíticas y póliticas clásticas, con pocas o escasas volcánicas dacítico-andesíticas intercaladas / gran parte de esta secuencia fue erosionada después de la Orogénesis Nickeriana o Grenvilliana / emplazamiento de algunos complejos máficos-ultramáficos y alcalinos en áreas continentales durante el Mesoproterozoico (1.400-1.300 m.a.) / algunas dolomitas sin datar, aunque asumidas del Arqueozoico, aparecen en el tope del Complejo de Imataca; sin embargo, fueron totalmente erosionadas del resto del Escudo de Guayana.	Supercontinente Atlántica-Caura
	1.700-1.650	Sutura Caura: collage tectónico / Colisión Imataca-Pastora (parte del Supercontinente Atlántica) contra el arco magmático de Cuchivero hace 1.850-1.800 m.a. / Ampliación del Supercontinente Atlántica en el que la zona de sutura se conoce como <i>Frente Tectónico Río Caura</i> .	
Rift continental	1.750-1.650	Asociación Avanavero: diabasas y gabros toleíticos.	
	1.750-1.450	Facies molasa post-tectónica del Supergrupo Roraima: inicio del fracturamiento del Supercontinente Atlántica y emplazamiento de rocas básicas de la Asociación Avanavero y equivalente en Imataca.	
	1.860-1.730	Fin de la Orogénesis post-Transamazónica: 1.980-1.880 m.a. FEV, rocas graníticas intrusitas al NO del estado Bolívar / evento tectonothermal suave de poca afectación sobre el Complejo de Imataca, aunque intrusiones de granitos más jóvenes intrusieron al complejo.	1.900-1.700 Evento Uatumá
	1.860-1.730	Rocas graníticas sin diferenciar de Amazonas.	
	1.860-1.790	Fin del magmatismo (arco magmático) de Cuchivero / Fin del Evento Orocaima.	
	1.930-1.790	Rocas graníticas volcano-plutónicas calco-alcalinas de Cuchivero.	

Continuación de Tabla 2.6			
	1.980-1.930	Comienzo del magmatismo de arco de Cuchivero / Evento Orocaima.	
Collage		Granulitización de Imataca (?).	
Cambio atmosférico	2.150-1.960	Orogénesis Transamazónica: colisión continental / desarrollo de los océanos Pastora, Barama-Mazzaruni, etc., con la colisión de los arcos de islas que dieron origen a los CRV de Pastora-Botanamo-Imataca y rocas graníticas TTG de Supamo, Bartica y equivalentes / subducción y cierre de esos océanos / colisión de los CRV-TTG con las rocas granulíticas-migmatíticas-anfibolíticas de Imataca-Kanukú de 2.300-1.950 m.a. / fin de la granulitización de rocas formadas durante las orogénesis Guriense y pre-Transamazónicas (?), lo que originó otro gran supercontinente denominado Atlántica (Rogers, 1.996 citado por Mendoza, 2.000) / rocas TTG de Supamo que intrusionan al Complejo de Imataca hacia los 2.200 m.a. en La Esperanza.	Supercotinente Atlántica
	< 2.000	Rocas graníticas intrusitas ricas en K ₂ O.	
	2.050-2.230	Rocas intrusitas graníticas sódicas del Complejo de Supamo.	
	2.100-2.000	Cinturones de rocas verdes (CRV) más jóvenes, CA, tipo Botanamo.	
	2.250-2.300	Cinturones de rocas verdes (CRV) más viejos, TK, tipo Pastora.	
	2.400-2.300	Disrupción (rifting) del Supercontinente Guayanensis: intrusiones de magmas basálticos, anarogénicos, emplazados del manto superior a la corteza Imataca (rocas sin identificar).	
Collage	2.600-2.500	Choque y aglutinación de microcontinentes: gran supercontinente.	Supercontinente Guayanensis
Granulitas	2.960-2.850	Orogénesis pre-Transamazónica (Aroensis): anfibolitización, granulitización y migmatización de las rocas originadas durante la Orogénesis Guriense.	Migmatita de La Ceiba y granulitas de Imataca
Antiguas	3.350-3.000	Orogénesis Guriense: formación de primitivos CRV y complejos tonalíticos (TTG) pre-Imataca.	
	3.700-3.400	Protolito Complejo de Imataca / Orogénesis Guriense.	
	4.500-4.000	Bombardeo de meteoritos sobre la Tierra: 40-60% fusión del manto-núcleo / Formación y evolución de rocas komatíticas y relacionadas.	
	4.700 ± 200	Primitivo planeta Tierra.	

El plegamiento interno de cada una de estas fajas es isoclinal con replegamiento más abierto. En la parte norte los pliegues tienen rumbo Noroeste mientras que en la parte sur la tendencia dominante de éstos es de N 60-70° E, que es la tendencia que predomina regionalmente, es decir, aproximadamente paralela a la Falla de Gurí (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. , 1991).

Geología estructural: la Provincia de Imataca muestra grandes diferencias de deformación tectónica y patrones estructurales (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. 1991). Las rocas se extienden como una gran faja de rumbo Suroeste-Noreste con lineaciones (fallas, ejes de pliegues, diaclasas, etc.) que siguen esta dirección preferencial y en menor grado hacia el Noroeste (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. ,1991).

Importancia económica: en la Provincia de Imataca los únicos recursos minerales explotados hasta el presente son los depósitos de hierro de El Pao (tipo Algoma) y de Cerro Bolívar-San Isidro, etc. (tipo Dos Carajás), manganeso en pocas cantidades y bauxita y caolines (productos de la meteorización y lixiviación de rocas graníticas). Se desconoce la presencia de depósitos de níquel, cromo, cobre, platinoideos y oro (Mendoza, V. 2000).

2.3.2 Formación Mesa (Pleistoceno)

Se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas), sin embargo se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar (inmediatamente al Sur del río Orinoco) (Figura 2.4) (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

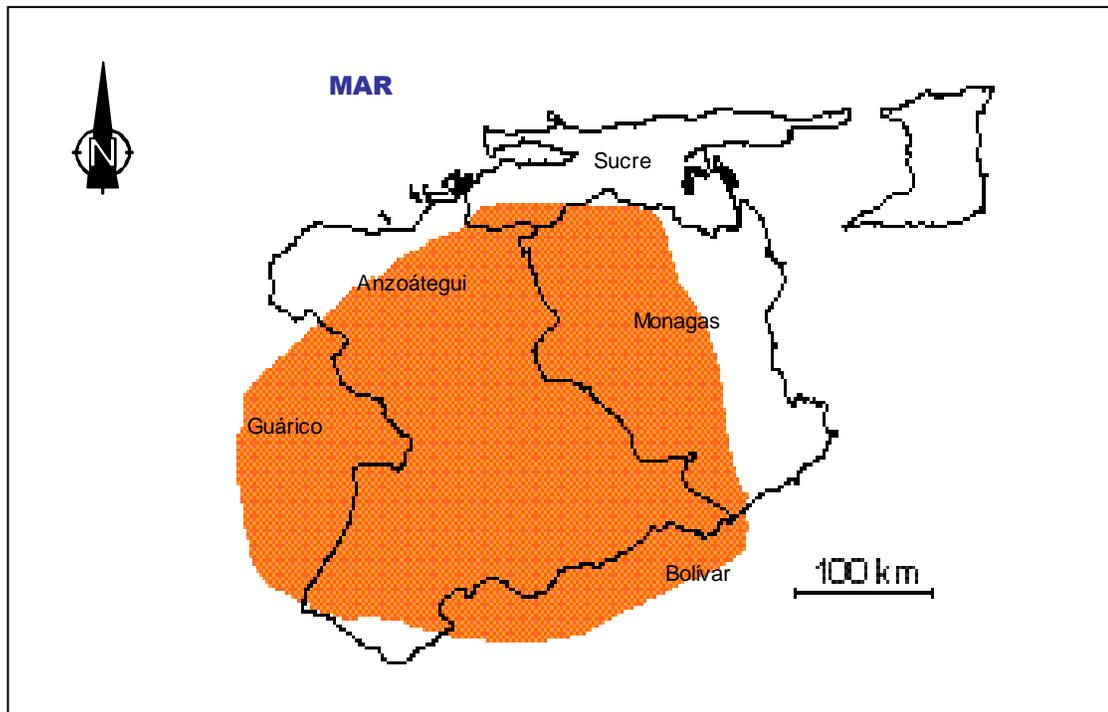


Figura 2.4 Extensión geográfica de la Formación Mesa (Modificada de PDVSA-Intevep, 1.999-2.001).

En la zona de estudio la Formación mesa constituye un recurso aprovechable desde el punto de vista económico, puesto que su arena (lavada y de mina) son comercializadas por areneras, legal e ilegalmente constituidas, que la proveen a constructoras que operan en toda la región sur oriental del país, además de ser considerada de excelente calidad para la construcción de edificaciones y elaboración de bloques.

Descripción litológica: consiste de arenas, algunas de grano grueso con gravas, de color blanco a gris, amarillentas, rojo y púrpura, algunas cementadas con cemento ferruginoso, muy duras, con estratificación cruzada. Conglomerados de color rojo a casi negro, algunos con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de tamaño grande,

aproximadamente 15 centímetros de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Arcilla, de color gris, rojo y amarillo intenso, algunas moteadas, abigarradas y en lentes discontinuos de arcilla arenosa y lentes de limonita (González de Juana, 1.946 y Furrer y Castro, 1.997 citados en PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Los sedimentos de la Formación Mesa gradan de Norte a Sur de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del Norte. Desde la parte central de Monagas al macizo de Guayana, gradan de más finos a más gruesos (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Espesor: es muy variable, pero en términos generales disminuye de Norte a Sur como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvial y deltaica, y aumenta de Oeste a Este por el avance de los sedimentos deltaicos (González de Juana et al., 1.980 citados en PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Su espesor máximo puede llegar a alcanzar los 275 metros, mientras que en el estado Bolívar llega a los 80 metros o más (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Contactos: en el estado Bolívar la Formación Mesa suprayace en posición discordante a las rocas del Complejo de Imataca (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Por debajo de la Formación Mesa, en ocasiones debajo de las capas de suelo y como terrazas de inundación se observa la presencia de roca meteorizada del basamento, fracturada y diaclasada. En este contacto el material se encuentra alterado y constituido por arcillas abigarradas grises moteadas de color rojo, morado, marrón y amarillo, denominadas “tigrito” (según informe inédito de Perfetti, J.N. citado por Cabrera y Silva, 1995; Sambrano, A. 1974).

En ocasiones este material presenta tendencia concrecionaria y acompaña a las costras de óxido de hierro, debido a que es justo en este contacto donde se ubican los acuíferos más profundos (Sambrano, A. 1974).

Fósiles: en la Formación Mesa se han encontrado fósiles de agua dulce asociados con arcillas ligníticas y restos de madera silicificada (xilópalo y sílex xiloideo) (González de Juana et al., 1980 citados en PDVSA-Intevep, 1.999-2.001; Cabrera, A. et al. 1995).

Edad: se ha postulado una edad del Pleistoceno para la Formación Mesa (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Correlación: los sedimentos de la Formación Mesa gradan hacia el Este a sedimentos de la Formación Paria (PDVSA-Intevep, 1999-2001).

Paleoambientes: la Formación Mesa se interpreta como producto de un extenso delta que avanzó hacia el Este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco, depositando secuencias fluviales, deltaicas y paludales. El relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de granos muy gruesos, mientras que desde el Sur el aporte principal fue de arenas. En la zona central se desarrollaron grandes ciénagas (González de Juana, 1.946 citado en PDVSA-Intevep, 1999-2.001). Coplanarh (1974, citado en PDVSA-Intevep, op. cit.), considera que los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales contemporáneos con un levantamiento de la Serranía del Interior.

García, O. (1.981), indica adicionalmente que la presencia de minerales estables (como el circón y la turmalina) y metaestables (como la cianita, estauroлита, andalucita y leucoceno), sugieren que las fuentes generadoras de sedimentos de la

Formación Mesa se localizaron en la Serranía del Interior y en las rocas metamórficas del Escudo de Guayana, respectivamente. Sin embargo, la presencia de otras evidencias permite valorar la hipótesis de que al menos al Sur del estado Anzoátegui los depósitos de la Formación Mesa provienen del Escudo de Guayana, a través de una fuente asociada a un paleorinoco.

Geología local: en el área delimitada por la cuenca del río Aro, afloran rocas de las provincias geológicas de Imataca, Pastora y Cuchivero; de edad arqueozoica la primera y proterozoica las dos siguientes. Además, se localizan sedimentos de la Formación Mesa, de edad pleistocénica y sedimentos aluviales de edad reciente. También está presente en el área una unidad de origen deposicional residual de edad desconocida; así como también diversos cuerpos de rocas intrusivas básicas, de edad mesozoica; que en forma de dique cortan las rocas de las provincias geológicas aflorantes en la zona de estudio.

La Provincia Geológica de Imataca, cubre la parte central del área y se extiende al Sur hasta su contacto con las rocas de la Provincia Geológica de Pastora. Está representada por rocas del Complejo de Imataca y por intrusivos graníticos jóvenes; afloran en el área diversidad de gneises con filones pegmatíticos, granulitas félsicas y máficas, charnockitas, cuarcitas ferruginosas, granitos e intrusivos más jóvenes tales como monzonitas, granitos y granodioritas. Los rasgos estructurales más resaltantes son plegamientos, fallas, domos, foliaciones y diaclasas.

De la Provincia Geológica de Pastora, se localiza afloramientos al noroeste, centro y Sur de la zona; se encuentran rocas de los grupos Carichapo y Real Corona, ambos del Super Grupo Pastora; del Complejo de Supamo e intrusivos graníticos jóvenes. El Grupo Carichapo está representado por rocas del Grupo Carichapo S/D tales como anfibolitas con afinidad toleítica y/o Komatítica. Del Grupo Real Corona se encuentran las formaciones Hato Sucio, Anfibolita de Danta, Zárate, Mapares y

Taipana, las rocas representativas de estas formaciones son afibolitas, meta-piroxenitas, esquistos, cuarcitas ferruginosas, conglomerados de cuarzo, meta-chert y meta-areniscas. Estructuralmente se diferencian fallas, pliegues, domos, foliaciones y diaclasas.

El área cubierta por la Provincia Geológica de Cuchivero, se ubica al sur, Suroeste y Sureste de la zona. Afloran rocas del Grupo Cuchivero S/D, rocas volcánicas tipo Formación Caicara e intrusivos graníticos jóvenes. Del Grupo Cuchivero S/D se tienen rocas graníticas y lavas y/o tobas de carácter ácido a intermedio; entre las rocas volcánicas tipo Formación Caicara se encuentran rocas piroclásticas ácidas como riolitas, riodacitas y dacitas alteradas, así como también rocas de carácter intermedio como cuarzo-andesitas.

Los cuerpos intrusivos jóvenes están constituidos por granitos alcalinos, granodioritas, monzonitas y cuarzodioritas. Los rasgos estructurales más representativos son fallas, foliaciones y diaclasas.

Las rocas intrusivas básicas, esencialmente diabasas, se presentan como diques aislados, intrusinando rocas de las Provincias Geológicas de Imataca, Pastora y Cuchivero; y como enjambres de diques, en dirección NW, cortando rocas de la provincia Geológica Imataca.

La Formación mesa aflora al norte del área, como una secuencia de arcillas, limolitas y arenas limolíticas. Los sedimentos de origen aluvional tales como limos, arcillas y gravas de cuarzo se encuentran en los bordes de los ríos y otros cursos de agua existentes en el área. Al SW del área de estudio y abarcando una gran extensión, se localiza un depósito de arenas blancas y grises de origen residual/deposicional, de edad indeterminada; estos sedimentos bordean los depósitos

aluvionales del río Aro y las rocas de las Provincias Geológicas de Pastora y Cuchivero.

2.4 Características geomorfológicas

La geomorfología de la cuenca del río Aro desde la cabecera hasta la desembocadura se caracteriza por ser un relieve de sabana, donde los rasgos geomorfológicos predominantes son las mesas o planicies, las colinas (lomeríos) de escasa altura y los barrancos (cárcavas) originados por el descenso brusco de las mesas. Sin embargo, localmente se pueden observar formas topográficas tales como conos de derrubios y terrazas aluviales (Cabrera, A. et al. 1995).

Con respecto al paisaje de planicies, se observan pendientes que varían entre 0-4 %, representan el rasgo geomorfológico de mayor uniformidad dentro del área, y son de origen deposicional (asociadas directamente a la Formación Mesa). Sin embargo, localmente las planicies pueden ser de tipo residual producto de la desintegración de los gneises cuarzo-feldespáticos y otras rocas del Complejo de Imataca.

La geomorfología del área en estudio decrece en un relieve esencialmente de sabana, interrumpido por el afloramiento de rocas ígneo-metamórficas y colinas aisladas de baja alturas en algunos casos formando barrancos característicos de la Formación Mesa. (Cabrera, A. et al 1.995).

En las superficies de ondulaciones suaves crecen gramíneas, que forman una población más cerrada, conjuntamente con algunos arbustos en los trayectos de los cursos de las aguas de drenaje formando pequeñas fajas de protección (bosques de galerías).

La secuencia de sedimentos aluviales, se caracteriza por ser sumamente permeable debido a su carácter arenoso o areno-limoso y por la presencia de diaclasas columnares que permiten el desarrollo de cárcavas, debido a la intensa erosión de los sedimentos no consolidados y rápido avance de cabecera con formación de escarpes. Estos fenómenos se deben a la vegetación pobre de sabana y a la naturaleza deleznable de los sedimentos que facilitan la erosión por el agua de esorrentía, originando un relieve muy accidentado de “tierras malas” (bad lands) que bordeados por áreas de suaves pendientes.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Garcias A., Felix A. y Rodriguez R., Linda María (2011) en su Trabajo de Grado “Determinación de las características físicas, químicas, bacteriológicas e índice de calidad de las aguas del río Aro en época de lluvia, sector Peramanal, Municipios Heres-Sucre, Estado Bolívar, año 2011”, resumieron en base a estudios, que: Los análisis granulométricos y físicos, realizados a las muestras de sedimentos predominan las arenas de grano medio a fino, presentando similares texturas. En general prevalecen las arenas de grano medio, poseen un pico poco cerrado, con una uniformidad aceptable. En cuanto a los minerales opacos están presentes el óxido de hierro, (hemetita, magnetita, ilmenita, pirita, entre otros.). Sus formas van desde angulosos a subredondeados. Los análisis para determinar la calidad del agua, la turbidez estaba por debajo del rango permitido en el decreto 833. Las lecturas de temperatura variaron entre los sitios de medición. En relación a los parámetros químicos como el pH, alcalinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, magnesio y calcio, del río aro en épocas de lluvia, año 2011, se tiene que se mantuvo en el rango, lo que le califica para las aguas tipo 1 según el Decreto Ejecutivo N° 883. Para efectos de los parámetros bacteriológicos del río Aro, éstos se encontraban en un rango de (ICA entre 76,14-85,75 Q), lo que permite afirmar que estas aguas son de buena calidad, y que pueden ser usadas en todas las formas e incluso aquellas que involucran el contacto directo con ellas, aunque se recomienda sean acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, para el consumo humano, lo cual concuerda con trabajos anteriores.

Machado, Patricia y Romero, Grineida (2007) en su Trabajo de Grado “Caracterización Geológica–Ambiental del río Aro en época de lluvia, municipios Heres-Sucre, Estado Bolívar”, concluyeron que en el río Aro, los resultados del estudio, destacan: 1) Análisis granulométrico y físico, donde se comprobó que en las muestras de sedimentos predominan las arenas de grano medio a fino, presentando similares texturas. En general prevalecen las arenas de grano medio, poseen un pico poco cerrado, con una uniformidad aceptable. Existe gran cantidad de minerales opacos como el óxido de hierro, (hematita, magnetita, ilmenita, pirita, entre otros.). Éstos se presentan en formas que van desde angulosos a subredondeados. 2) Análisis para determinar la calidad del agua en términos de turbidez y temperatura: la turbidez está por debajo del rango permitido en el decreto 833. Las lecturas de temperatura variaron entre los sitios de medición. En relación a los parámetros químicos como el pH, alcalinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, magnesio y calcio, del río aro en épocas de lluvia, se tiene que se mantuvo en el rango, lo que le califica para las aguas tipo 1 según el Decreto Ejecutivo N° 883. Para efectos de los parámetros bacteriológicos del río Aro, éstos se encuentran en un rango de (ICA entre 76-85), lo que permite afirmar que estas aguas son de buena calidad, por lo que pueden ser usadas en todas las formas e incluso aquellas que involucran el contacto directo con ellas.

3.2 Procesos geológicos

Son todos aquellos procesos que de una u otra forma tienden a causar cambios en el globo terrestre. (Whitten, D. 1972). Los cuales se clasifican en procesos de origen externo como son la denudación (meteorización, erosión y transporte), depósito o sedimentación, los procesos de origen interno movimiento terrestre y actividad ígnea.

Meteorización: proceso mediante el cual las rocas se rompen y descomponen por la acción de agentes externos tales como el viento, lluvia, cambios de temperatura, las plantas y las bacterias.

Transporte: es el acarreo de los sedimentos desde su lugar de origen hasta su sedimentación, por vías naturales como el viento y el agua (Whitten, D. op.cit).

Sedimentación: es la fase seguida del transporte, donde los sedimentos que han sido acarreados son depositados de acuerdo a a la corriente que lo transportó. (Whitten, D. op.cit).

3.3 Análisis granulométrico

Consiste en clasificar por tamaño los granos que lo componen. Un análisis de esta clase expresa cuantitativamente las proporciones en peso de las partículas de distintos tamaños que hay en el sedimento. La forma de realizarlo es por medio de una serie de tamices que definen el tamaño de las partículas (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001) (Tabla 3.1).

3.3.1 Escala granulométrica

La escala comúnmente empleada en la actualidad por los sedimentólogos es la de Udden-Wentworth (1.922), que toma el milímetro como punto de partida para estimar el diámetro promedio de tamaño para una partícula sedimentaria y emplea la razón $\frac{1}{2}$ para obtener los diámetros límites de sus clases de tamaño de 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, etc.

De esta forma se definen los términos de la escala granulométrica en bloques, grava, arena, limo y arcilla (Lane et al. 1.947 citados en García, O. 1.981) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Escala de Wentworth para clasificar las partículas de sedimentos clásticos según su tamaño (Adaptada de la Guía para Análisis Granulométrico del Dpto. de Geología UDO, 2.001 y de la Clasificación de los Sedimentos por su Tamaño de Rouse, H. en Engineering Hydraulics, Nueva York, 1.950 por Monsalve, 1.999).

Característica del sedimento			Fragmento	Grado	Tamaño (mm.)		Tamizado	Nombre de la roca consolidada
					Decimal	Fracción		
Sedimento	Granular	(Análisis Mecánico)	Canto rodado (Cantos grandes)	Muy Grande		4-2 m.		
				Grande		2-1 m.		
				Mediano		1-0,5 m.		
				Pequeño		0,5-0,256 m.		
			Guijarro (Cantos medianos)	Grande		256-128		
				Pequeño		128-64		
			Grava (Cantos pequeños)	Muy Gruesa		64-32	Pasa por el Tamiz N° 3 y es retenida por el Tamiz N° 4	Conglomerado
				Gruesa		32-16		
				Media		16-8		
				Fina		8-4		
	Muy Fina			4-2				
	Arena	Muy Gruesa		2-1	Pasa por el Tamiz N° 4 y es retenida por el Tamiz N° 200	Arenisca		
		Gruesa	2-0,5	1-½				
		Media	0,5-0,25	½-¼				
		Fina	0,25-0,0625	¼-1/8				
	Limo	Grueso	0,0625-0,0312	1/16-1/256	Pasa por el Tamiz N° 200	Limolita		
		Medio	0,0312-0,016					
		Fino	0,016-0,004					
	Arcilla	Gruesa	0,004-0,002	1/16-1/4096	Pasa por el Tamiz N° 200	Lutitas/ Argilitas		
		Media	0,002-0,001					
Fina		< 0,001						
Cohesivo	(Análisis por Pipeta o Hidrómetro)							

3.3.2 Curvas e histogramas

Las propiedades físicas de los sedimentos deben ser representadas gráficamente para su fácil comparación mediante Histogramas (o pirámide) de frecuencia, Curva de frecuencia simple y Curva de frecuencia acumulativa. (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.2.1 Histogramas

La forma de éstos depende del número de grados en los cuales se ha dividido el material examinado y por ende de la clase de divisiones empleadas para su representación. El histograma se parecerá tanto más a una curva, cuanto mayor sea el grado de división a que el material se ha sometido. Dos histogramas del mismo material con grados de división diferentes, pueden parecer bastante distintos.

También dos histogramas en los cuales en uno se haya calculado el porcentaje por peso y en otro por volumen, pueden presentar considerables diferencias. Esta es la razón por la cual el procedimiento a seguir debe ser fijado desde el comienzo en toda serie de investigaciones conducentes a correlaciones. Para comparar los histogramas es preciso también que tengan la misma escala. Generalmente se establece un centro de coordenadas colocando en el eje de las abscisas variables como tamaño, forma, densidades mineralógicas, etc.; mientras que en el eje de las ordenadas los valores en porcentajes (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.2.2 Curvas de frecuencia acumulativa

Pueden ser comparadas por su forma, aunque están dibujadas a distintas escalas, siempre que el procedimiento utilizado para su construcción haya sido el mismo (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.3 Descripción para la construcción de los gráficos

3.3.3.1 Histograma piramidal y curva de frecuencia simple

Para construir este diagrama, se lleva sobre el eje horizontal la Escala de Wentworth representando los términos aritméticamente e interpolando aquellas aberturas de tamices que no coinciden exactamente con los términos de la escala. En el eje vertical se establece una escala aritmética de porcentajes para cada porción de sedimento separada entre tamices. Se dibuja un bloque limitado entre las abscisas, correspondientes a las aberturas de los tamices entre los cuales queda la porción y coordenada, igual al porcentaje del total de la muestra que corresponda. Para construir la curva de frecuencia se unen por medio de una curva continua los puntos medios de las abscisas que limitan los bloques en su parte superior (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.3.2 Curva de frecuencia acumulativa

Esta curva se dibuja sobre una escala logarítmica de tres ciclos con escala vertical aritmética. En el eje de las abscisas se colocan los términos de la Escala de Wentworth de acuerdo con la división logarítmica de la escala, interpolando con los términos de la escala. En el eje vertical se lleva una escala aritmética de porcentajes de 0 a 100. Para localizar los puntos de la curva acumulativa se toma como abscisa de cada uno el término de la escala horizontal que corresponda al tamiz sobre el cual ha quedado la porción, y como ordenada, el porcentaje acumulado correspondiente (sumando de la porción más gruesa a la más fina) (Dpto. de Geología UDO, 2.001).

3.3.4 Medidas estadísticas de los sedimentos

Existen diversas maneras para representar los caracteres físicos de un sedimento a partir del:

3.3.4.1 Diámetro medio (Md)

Es el punto medio de la distribución del sedimento y está determinado por el punto donde se interceptan la curva acumulativa y la línea del 50 por ciento. Indica que el 50% del material es más grueso y el 50% más fino (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

El primer y el tercer cuartil (Q_1 y Q_3 , respectivamente) son determinados de manera idéntica mediante la intersección de las curvas acumulativas con las líneas de 25 y 75 por ciento, respectivamente (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.4.2 Coeficiente de escogimiento (S_o)

Indica la distribución de las partículas a cada lado del diámetro medio (Md), es decir, el grado de uniformidad de los granos. El S_o mide la desviación de los cuartiles con respecto al diámetro medio.

Si los cuartiles están cerca del diámetro medio el sedimento está bien escogido, en caso contrario, lo está pobremente (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

El coeficiente de escogimiento es definido por la fórmula:

$$S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}, \text{ donde } Q_3 > Q_1 \quad (3.1)$$

De esta fórmula se desprende que a medida que Q_3 se aproxima a Q_1 , el coeficiente se acerca a 1, y mientras más próximo se esté a éste mejor escogido será el sedimento. Así, un valor de S_o menor que 2,5 indica un sedimento bien escogido, un valor de 3,0 es normal y un valor mayor que 4,5 indica un sedimento mal escogido (García, O. 1.981; Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

Físicamente, el grado de selección o escogimiento muestra qué tanto ha sido batido o retrabajado un sedimento por los agentes de transporte. Es un indicador valioso de la velocidad y del ambiente de depositación. Este parámetro es ampliamente utilizado en la clasificación de las areniscas y es el que controla la permeabilidad y la porosidad (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

- Selección por tamaño: expresa el grado en que los granos se aproximan a ser todos de igual tamaño. Ésta es la medida de selección usada más comúnmente, sin embargo, debe recordarse que los granos pequeños de minerales pesados se depositarán junto con los granos más grandes de minerales livianos (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

- Importancia del escogimiento: da idea del transporte que ha sufrido una partícula. Cuando se clasifica una muestra como “bien escogida” significa que todos los granos son del mismo tamaño, lo que implica a su vez que la energía se mantuvo

constante independientemente si la intensidad (baja o alta energía) (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

Cuando se habla de “mal escogida” se observa una variación marcada en el tamaño del grano producto de una variación en el nivel de energía que depositó en un momento dado granos gruesos y en otro momento granos medianos y finos; “moderadamente escogida”, difieren en tamaño los granos, pero la diferencia no es tan marcada (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

Por otra parte, dado que el escogimiento (o función de uniformidad) influye en la porosidad la mayor porosidad se logrará cuando haya un buen escogimiento; es decir, cuando todos los granos sean de igual tamaño. Cuando existen granos de mayor y menor tamaño (mal escogidos) la porosidad tiende a disminuir (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.4.3 Coeficiente de sesgo o simetría (*SK*)

Demuestra el grado de simetría con respecto a la modalidad de la curva indicando dónde ocurre la mayor concentración de partículas del mismo diámetro con respecto al diámetro medio; en otras palabras, muestra en qué lado del diámetro medio ocurre el mayor escogimiento del material (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

- **Modalidad:** La abscisa del punto culminante de un histograma o una curva de frecuencia simple se denomina modalidad e indica el tipo de grano más abundante en el sedimento. El tamaño de su ordenada, la manera y la forma en que el resto de la frecuencia está repartida a un lado y otro de este punto culminante es carácter de los sedimentos (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

El SK se expresa por la fórmula:

$$SK = \frac{Q_1, Q_3}{(Md)^2} \quad (3.2)$$

- La mediana: si el coeficiente es mayor que 1 el escogimiento máximo se encuentra en las fracciones finas; si es menor, en las fracciones gruesas. Si el sesgo fuese 1 la curva sería simétrica en Q_1 y Q_3 (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.4.4 Curtosis o agudez del pico (K)

Representa la agrupación apretada de las frecuencias en la modalidad (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001). Puede ser expresada por la fórmula:

$$K = \frac{Q_3 - Q_1}{2(P_{90} - P_{10})} \quad (3.3)$$

En la cual, Q_1 y Q_3 son los cuartiles, P_{90} indica la coordenada de la abscisa en el punto de la curva acumulativa correspondiente con el 10% y así, sucesivamente (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.3.4.5 Coeficiente de uniformidad (U)

Representa el cociente entre el diámetro del grano, tal que el 60% de la muestra es inferior a él, y aquel diámetro donde el 10% de la muestra es inferior al mismo

(Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001). En la curva acumulativa de frecuencia U vendría representado por:

$$U = \frac{P_{40}}{P_{90}} \quad (3.4)$$

Para un sedimento completamente uniforme, $U=1$ (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

En general, las tres últimas evaluaciones estadísticas mencionadas (sesgo, curtosis y el coeficiente de uniformidad) representan un análisis de la característica adoptada por los sedimentos en el histograma y la curva acumulativa de frecuencia (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

Adicionalmente, los parámetros de tamaño del grano, escogimiento y redondez constituyen una de las características fundamentales que influye en la formación de las estructuras sedimentarias (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.001).

3.4 Esfericidad y redondez de las partículas de sedimento clástico

La forma de los granos (fragmentos clásticos) de cada partícula que conforma un sedimento es una de sus características más obvias que tiene gran influencia en la determinación de su comportamiento durante el transporte y la depositación, y que constituye una importante característica de su textura. Esta propiedad es también una de las más difíciles de describir y medir en términos cuantitativos, de hecho el problema aún desafía a una solución satisfactoria. Sin embargo, la forma se expresa mediante dos índices el de esfericidad y el de redondez (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

En su origen los fragmentos de roca son normalmente angulares y casi de una variedad de formas infinitas. Los minerales que son quebradizos o que tienen buen clivaje tienden a permanecer angulares al ser reducidos en tamaño (principalmente por fractura), pero los minerales resistentes como el cuarzo son reducidos por atrición durante el transporte (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

El desgaste de estas partículas está concentrado principalmente en las orillas y esquinas, que son desgastadas hasta hacerse romas (por ejemplo, en el caso de transporte por saltación los granos minerales sufren golpeteos con el fondo del cauce de los ríos en función de la intensidad de la corriente). El redondeamiento es, entonces, una función de la agudeza de las orillas y las esquinas (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Cuando se estudia la esfericidad y la redondez de las partículas de un sedimento se están estudiando las condiciones de transporte de los mismos, es decir, si la muestra ha sufrido poco o mucho transporte. Además, intrínsecamente se estudian los niveles energéticos a los que ha estado sometida la muestra, relacionándolos con la distancia de transporte y la intensidad con la que ha ocurrido el proceso que les ha dado su forma (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Con respecto a la cantidad de energía que es aplicada sobre cada una de las partículas ésta puede ser alta, media y baja. La primera ha de mover granos de gran tamaño y disminuye en el sentido de la energía aplicada, mientras que para que las aristas de los granos sean angulosas es necesario menor cantidad de energía y de transporte (estar cerca de la fuente), parámetros que se incrementan a medida que los granos se hacen más redondeados (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Se interpreta así la relación existente entre el tamaño, la velocidad y la energía (en función de la distancia y el tiempo) aplicados a un grano de sedimento dado que en principio un fragmento de roca posee angularidades, pero éstas se van perdiendo a medida que el fragmento es llevado por los procesos que rigen la mecánica del medio de transporte donde se encuentra (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000). Por tanto, el estudio de la forma del grano, es decir, de sus angularidades, se refiere a si una partícula posee aristas angulosas, subangulosa, redondeadas, subredondeadas, o bien, muy angulosas o muy redondeadas (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

3.4.1 Índice de esfericidad de los fragmentos clásticos

3.4.1.1 Esfericidad

es un parámetro que ayuda a determinar la distancia a la que se encuentra la fuente de un sedimento, y que se caracteriza por la tendencia que tienen las partículas de hacerse esféricas con el transporte (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

El índice se refiere a su forma en conjunto, y se define como:

$$Esfericidad\ de\ operación = \sqrt[3]{\frac{Volumen\ de\ la\ partícula}{Volumen\ de\ la\ esfera\ circunscrita}} \quad (3.5)$$

Por lo general la esfericidad se determina por estimación visual con ayuda de tablas y puede variar desde 1 (gránulos esféricos) a 0 (gránulos aciculares o laminares).

3.4.2 Índice de redondez de los fragmentos clásticos

3.4.2.1 Redondez

Se relaciona con la agudeza de las aristas y de los vértices de un fragmento clástico, independientemente de la forma (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

El índice expresa las características de la superficie o contorno de los fragmentos en posición de equilibrio estable proyectada sobre un plano de apoyo. Esta expresión es importante cuando se trabaja sólo con granos gruesos (gravas) puesto que a medida que éstos se empequeñecen hasta llegar a arenas la superficie de proyección puede ser muy diferente (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

El índice de redondez (GR) se define como la relación entre el radio medio (r) de los círculos inscritos en el contorno de un grano y el radio del círculo máximo (R) inscrito en el mismo contorno (ecuación 3.6) (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Se puede medir por estimación visual, y varía asimismo desde 1 (en el caso de granos de superficie completamente lisa) hasta 0 (para los gránulos de superficie muy accidentada) (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Para el cálculo de este índice basta con determinar, utilizando la proyección de la partícula, la longitud del radio mayor (R) y la de los radios menores (r), posteriormente se calcula este índice mediante el empleo de la ecuación (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000):

$$GR = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{r}{R}}{n} \quad (3.6)$$

Donde n representa el número de radios medios (r). El resultado así obtenido es comparado con los valores establecidos en las tablas de grados de redondez de las partículas para obtener la nomenclatura de los grados (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

3.4.3 Relación entre los índices de esfericidad y redondez

Entre estos dos índices de forma existe una relación bastante imprecisa debido a que los fragmentos más esféricos suelen ser también los más redondeados (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Además, existe cierta relación entre la forma y el diámetro; en efecto en un mismo depósito clástico las clases granulométricas más gruesas tienen índices de forma más elevados ya que los granos más gruesos poseen mayor desgaste durante su transporte (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Los índices de forma pueden variar mucho, sobre todo si se comparan con los valores originales del sedimento recién depositado y los encontrados en el curso de la diagénesis, debido a los procesos de disolución parcial o de depositación incipiente de un cemento químico en la superficie de los gránulos (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Los fragmentos no esféricos que se encuentran en los sedimentos y en las rocas clásticas a veces están depositados sin ningún orden, pero en general ofrecen una orientación de preferencia (textura orientada) que se forma en el momento de la

sedimentación y que corresponde a las características mecánicas del agente de transporte. Las orientaciones de preferencia de los gránulos de forma alargada o aplanada se pueden expresar en un sistema de coordenadas, es decir, indicando el acimut y la inclinación de la mayor dimensión para los fragmentos alargados y de la perpendicular al plano de aplastamiento para los aplanados (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Estos dos se reflejan después en los oportunos diagramas, análogos a las que se emplean para el análisis textural de las rocas metamórficas (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

3.4.4 Determinación del grado de redondez de las partículas sedimentarias

Debido a la dificultad de distinguir las ligeras diferencias en la redondez de las partículas pequeñas se han propuesto cinco grados de redondez (Russell y Taylor, 1.937; Powers, A. 1.953; Pettijohn, F.J. 1.957 en Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Cada una de las clasificaciones existentes se diferencia cuando se necesita tener una discriminación más afinada y se requieren hacer análisis estadísticos más rigurosos con los resultados (Herrera, J. 1.998) (Tabla 3.2).

En la tabla 3.2 puede observarse que los cinco grados de redondez propuestos por Russell y Taylor no son iguales en tamaño. Esta desigualdad surge a raíz de la dificultad en distinguir ligeras diferencias en redondez, cuando los valores de estos son pequeños. Los grados de redondez de acuerdo a Pettijohn, F.J. son los siguientes (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000):

Tabla 3.2 Grados de redondez de las partículas sedimentarias (Tomada de Guía de Redondez y Esfericidad de las Partículas del Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000; Herrera, J. 1.998).

Nomenclatura de los grados de redondez	Russel y Taylor		Pettijohn	
	Límites de las clases	Punto medio	Límites de las clases	Punto medio
Anguloso	0,00 – 0,15	0,075	0,00 – 0,15	0,125
Subanguloso	0,15 – 0,30	0,225	0,15 – 0,25	0,200
Subredondeado	0,30 – 0,50	0,400	0,25 – 0,40	0,315
Redondeado	0,50 – 0,70	0,600	0,40 – 0,60	0,500
Muy Redondeado	0,70 – 1,00	0,850	0,60 – 1,00	0,800

3.4.4.1 Anguloso (0-0,15)

Las aristas y los vértices son agudos y muestran poca o ninguna prueba de desgaste. Los vértices secundarios son numerosos (entre 15-30) y agudos (Tabla 3.2).

3.4.4.2 Sub-anguloso (0,15-0,25)

Los fragmentos mantienen aún su forma primitiva y las caras están virtualmente intactas, pero las aristas y los vértices han sido redondeados en cierto grado mostrando los efectos típicos del desgaste. Los vértices secundarios son numerosos (entre 10-20), pero menos que en los angulosos (Tabla 3.2).

3.4.4.3 Sub-redondeado (0,25-0,40)

Las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentran bastante reducidas, mostrando considerable desgaste

pero manteniendo aún la forma primitiva del grano. Los vértices secundarios están muy redondeados y en número reducido (Tabla 3.2).

3.4.4.4 Redondeado (0,40-0,60)

Las caras originales se muestran completamente destruidas, pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos cóncavos entre caras remanentes.

Todas las aristas y los vértices originales han sido pulidos hasta curvas suaves y amplias. Los vértices secundarios están muy suavizados y escasos (entre 0-5). Con una redondez de 0,6 todos los vértices secundarios desaparecen, y aún se reconoce la forma primitiva (Tabla 3.2).

3.4.4.5 Bien o muy redondeado (0,60-1,00)

La superficie consta totalmente de curvas amplias, sin caras originales con aristas y vértices; carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano (Tabla 3.2). El esquema actualmente empleado para medir el grado de redondez de los granos de arena y grava implica medidas sobre una proyección de la partícula sobre una superficie plana (Wadell, A. 1.932-1.933). La partícula que va a estudiarse se coloca en una placa de vidrio y se agita ligeramente hasta que entre en reposo en su superficie más amplia. Esto normalmente coloca a su diámetro menor en una posición vertical y a su diámetro máximo e intermedio en el plano de la placa. Así puede entonces ser fotografiada a la amplificación deseada o su imagen puede ser proyectada a una superficie (horizontal o vertical) para ser medida (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000; Herrera, J. 1.998) (Figura 3.1).

De acuerdo con el esquema de Wadell, A., la redondez en una esquina dada de una partícula es r/R , en la cual r es el radio de curvatura en la esquina en cuestión y R es el radio del círculo máximo inscrito (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Por lo tanto, la redondez de la partícula como un todo es el promedio del redondeamiento de todas sus esquinas, es decir, es la suma de los valores de redondez para cada esquina dividida entre el número de radios (ecuación 3.6).

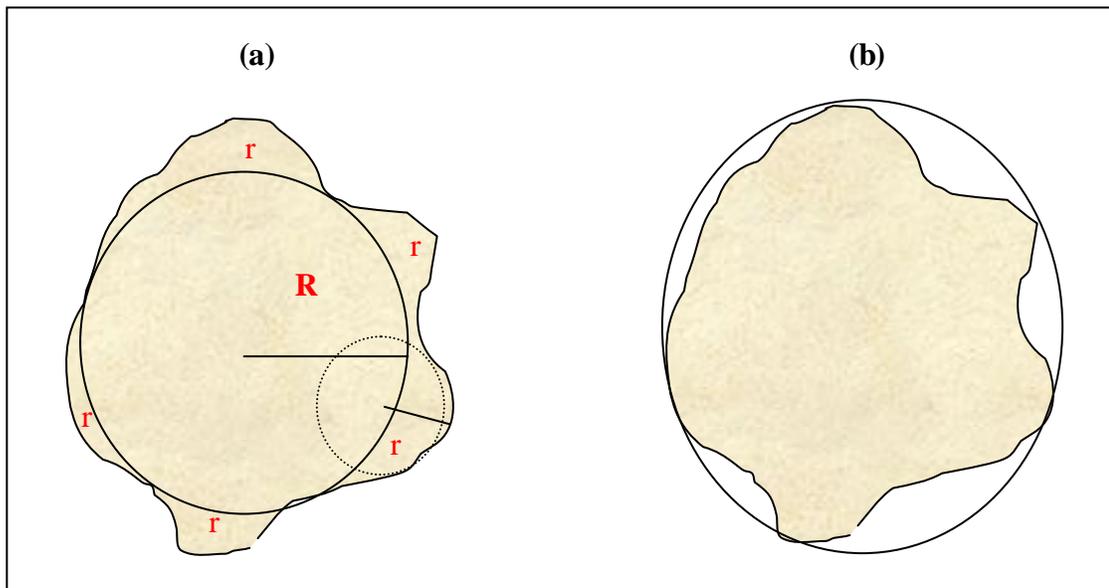


Figura 3.1 a) Proyección de una partícula mostrando los radios de curvatura en cada esquina y el círculo máximo inscrito (para calcular su redondez); b) Proyección de una partícula yaciendo sobre su superficie mayor, mostrando el círculo mínimo circunscrito (para calcular su esfericidad) (Tomada de Guía de Redondez y Esfericidad de las Partículas del Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Sin embargo, existen plantillas y diagramas que permiten evitar cálculos, y cuya utilización resulta cómoda cuando hay que realizar una cantidad grande de medidas (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Si bien las medidas son de una precisión mayor que las simples expresiones de redondeado, subredondeado, subangulares y angulares pero cuando se trata de examen de arenas y no de granos gruesos el procedimiento se hace lento, aparte de que la superficie de proyección de un mismo grano puede ser bien diferente según se presente el objetivo y esto aun conservando siempre una misma dimensión para su diámetro máximo (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

En estas operaciones de mediciones de diámetro máximo, resultan cómodas unas plantillas de celuloide transparente con una serie de círculos concéntricos de diámetros crecientes en una escala dada, y que aplicadas sobre la fotografía o dibujo, dan rápidamente el diámetro (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

La simple inspección de la figura 3.1 muestra que a medida que el radio de curvatura aumenta, al volverse las esquinas más ampliamente redondeadas hasta que es igual al radio del círculo máximo inscrito, en ese momento las esquinas desaparecen por completo y la partícula, entonces, se vuelve completamente redonda.

La redondez perfecta, por lo tanto, tiene el valor de 1 y la redondez de una partícula irregular, siendo menor, se expresa como una fracción decimal (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Interpretación del grado de redondez: dada la complejidad de los factores que controlan el grado de redondez de una partícula clástica sedimentaria (viscosidad del agente de transporte, velocidad y distancia a la que es transportada la partícula,

textura del fondo—guijarrosa o arenosa, material transportado junto con la partícula, peso de la partícula, dureza, forma y fisilidad de ésta, entre otros), su historia de abrasión sólo puede ser determinada a través del grado de su redondez (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

La resistencia relativa a la abrasión de los minerales, en orden decreciente, se presenta en la figura 3.2 (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000; Herrera, J. 1.998).

Las partículas bien redondeadas ($GR=0,6$), producidas por una pérdida de aproximadamente $1/3$ del peso, se originan en las primeras etapas de la historia abrasiva (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Un incremento en la pérdida de peso producirá pocos cambios en su redondez, por lo que el aumento de su grado de redondez variará muy lentamente (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

La distancia de transporte necesaria para producir una redondez de aproximadamente 0,6 en gujarros varía en unos pocos kilómetros en rocas muy resistentes (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

En arenas, la distancia puede variar de algunos cientos de kilómetros (para minerales como el apatito y la hornblenda) a varios miles de kilómetros (para el cuarzo). Una redondez apreciable en las arenas ocurre, probablemente, sólo en ausencia de materiales gruesos (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

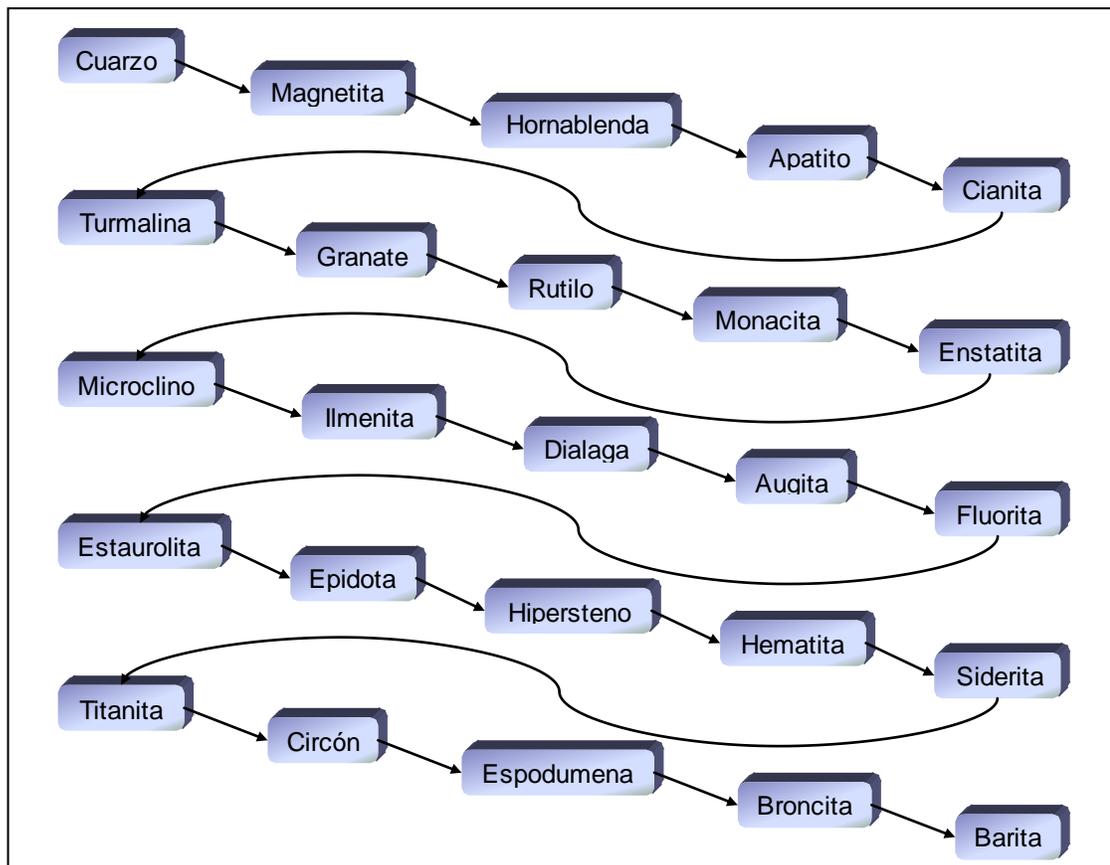


Figura 3.2 Resistencia relativa a la abrasión de algunos minerales (en orden decreciente) (Modificada de Guía de Redondez y Esfericidad de las Partículas del Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

3.4.5 Determinación de la esfericidad de las partículas sedimentarias

Dado que la redondez es una medida bidimensional, en las investigaciones es usual trabajar con la esfericidad sobre todo a la hora de analizar granos muy pequeños, pues se puede inducir a errores. La esfericidad de los granos es un carácter que permite sacar conclusiones sobre su formación (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

El concepto original de la esfericidad definido por Wadell, A. (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000; Herrera J. 1.998) es:

$$E = \frac{A}{A^+} \quad (3.7)$$

Donde, E es igual a la esfericidad verdadera, A representa el área de la superficie de la partícula y A^+ el área de la superficie de una esfera de igual volumen. La medición de la esfericidad verdadera de una partícula irregular no es posible de realizar en la práctica, por lo que el mismo Wadell, A. propuso una definición práctica que expresa la medición de la esfericidad de una partícula sedimentaria en la forma que la propone la ecuación 3.5 (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Wadell, A., encontró, en partículas grandes, que el procedimiento a seguir era medir el volumen de la partícula por desplazamiento de agua, y luego se expresa como el de una esfera de diámetro nominal $(\pi/6)a^3$. La esfera circunscrita tiene un diámetro igual al de la máxima interceptación a través de la partícula y su volumen es, por consiguiente, $(\pi/6)a^3$ (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Sustituyendo los volúmenes por sus valores en la ecuación 3.5 para la esfericidad de operación y eliminando los términos comunes al denominador y al numerador, la esfericidad se reduce a la expresión (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000):

$$\text{Esfericidad de operación} = \frac{d}{a} \quad (3.8)$$

Es decir, que la esfericidad de las partículas (grandes) se mide en función del diámetro nominal (d) a la intercepción máxima (a) a través de la partícula. Por tanto, se propone que en granos pequeños el término mejor empleado sea el de grado de circularidad, en vez de esfericidad (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

3.4.5.1 Procedimientos y técnicas de estudio

- **Contaje:** después de haber mezclado bien la muestra, se examina una pequeña parte de ésta bajo el campo del microscopio, teniendo en un papel las columnas correspondientes a cada tipo (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Se debe tomar una cantidad entre 200-300 granos, para lo cual cada cristal examinado se coloca en una casilla correspondiente a su grado de redondez observado visualmente. Se calcula el porcentaje de cada tipo para proceder a la catalogación y realizar el histograma correspondiente (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

- **Alumbrado:** se debe iluminar el campo con dos focos de luz, uno a la derecha y otro a la izquierda del operador, con la finalidad de evitar errores a causa de la sombra o de las reflexiones provenientes de una fuente de luz en una sola dirección (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

Incluso es recomendable, si se puede, girar la platina portadora de las muestras unos 90° y repetir la observación. Es muy conveniente utilizar muestras que contengan un tamaño más o menos igual (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

- Histogramas de frecuencia de formas: se elaboran de la misma forma que los histogramas de tamaño, esto es, tomando sobre uno de los ejes de coordenadas el porcentaje y sobre el otro las cuatro divisiones de redondo, subredondo, subangulares y angulares (Departamento de Geología Universidad de Oriente, 2.000).

3.5 Procedencia de la acumulación de las partículas de sedimento

Las fuentes de emisión del material sedimentario que constituye una formación sedimentaria, o que simplemente yace en el lecho de un río, constituyen un aspecto bastante controvertido (García, O. 1.981).

Dentro de los criterios que se manejan para el estudio de las posibles fuentes de emisión se tienen (García, O. 1.981):

3.5.1 Orientación de la acumulación

La orientación de los canales de explayamiento o esparcimiento constituye un elemento fundamental en la forma de presentarse los sedimentos de un río o el sistema depositacional de una formación geológica, y por lo general esta orientación sigue la tendencia topográfica o dirección (García, O. 1.981).

3.5.2 Presencia de carbonato de calcio

La presencia de carbonato de calcio (CaCO_3) permite corroborar si el aporte de sedimentos proviene de una fuente rica en este mineral (sedimentaria) o particularmente de una fuente escasa (igneo-metamórfica) (García, O. 1.981).

3.5.3 Minerales pesados

Entre los minerales de la roca madre que sobreviven a la destrucción por meteorización, abrasión o disolución interestratal se encuentran los minerales denominados “pesados” , es decir, aquellos con peso específico mayor que el del bromoformo (2,85). Estos minerales constituyen los minerales accesorios secundarios de las areniscas que poseen peso específico mayor que el promedio (García, O. 1.981).

Tales componentes secundarios, que raramente sobrepasan el 1% y por lo general forman menos del 0,1% de la roca, derivan de los minerales accesorios muy estables de la roca madre; o aún más excepcionalmente son el remanente de los componentes máficos más abundantes, pero inestables de las rocas generadoras. Por ejemplo, el circón es un ejemplo de los accesorios secundarios estables mientras que la hornblenda es el representante de los componentes máficos inestables más abundantes en una roca generadora (García, O. 1.981).

La cantidad y los tipos de minerales varían entre límites muy amplios. Si bien casi cualquier mineral existente en la roca generadora puede aparecer en el sedimento, sólo relativamente pocas especies acompañan a las arenas (García, O. 1.981).

Si los minerales pesados son recién derivados de las rocas cristalinas, entonces estarán relativamente poco desgastados. Los fragmentos con caras de clivaje y cristales más o menos euhedrales son característicos de la asociación. Sin embargo, si los minerales pesados derivan de sedimentos preexistentes, las especies menos estables tienden a desaparecer. Las variedades más estables que subsisten muestran un notable redondeamiento (García, O. 1.981).

El estudio de los minerales pesados es útil en casos de correlación estratigráfica, puesto que, teóricamente, cada unidad estratigráfica difiere en cierto grado de cualquier otra por el carácter y la abundancia de la serie de minerales accesorios (García, O.1.981).

Los minerales pesados alógenicos en los sedimentos pueden indicar si las rocas de origen son ígneas, metamórficas o sedimentarias (García, O. 1.981).

Muchos minerales inestables y angulares pueden ser indicativos directos de un origen ígneo o metamórfico, mientras que granos de minerales estables bien redondeados sugieren haberse derivado de rocas sedimentarias preexistentes (García, O. 1.981).

3.6 Calidad del agua

La calidad del agua es la condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos. Está determinada por la hidrología y por el conjunto de características fisicoquímicas y biológicas que ella debe contener en su estado natural, y que pueden ser alteradas por el exceso de materiales extraños producto de la actividad humana (contaminación) o por la acción de la naturaleza (polución) (Microsoft Corporation, 1.993-2.003).

En las aguas naturales o crudas hay sustancias disueltas (materiales en suspensión, iones, etc.) que dan características especiales a éstas, por lo que es necesario conocer su presencia y sus cantidades máximas (Blanco, 1.991; Aguirre, C. et al. 1.992).

3.6.1 Parámetros que determinan la calidad del agua

Los parámetros o indicadores más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son el oxígeno disuelto, el pH, la cantidad de sólidos en suspensión, la demanda bioquímica de oxígeno y la cantidad de fósforo, nitratos, nitritos, amonio, amoníaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, cinc total y cobre soluble, entre otros. También se pueden emplear bioindicadores para evaluar la calidad media que mantiene el agua en periodos más o menos largos, para lo cual se usan diferentes grupos biológicos (Microsoft Corporation, 1993-2003).

Debido a la cantidad de parámetros que participan en el diagnóstico de la calidad del agua y a lo complejo que éste puede llegar a ser, se han diseñado valores índices que sintetizan la información proporcionada por dichas mediciones (Microsoft Corporation, 1993-2003).

Los índices tienen el valor de permitir la comparación de la calidad en diferentes lugares y momentos, y de facilitar la valoración de los vertidos contaminantes y de los procesos de autodepuración (Microsoft Corporation, 1993-2003).

Los índices de calidad constan de los valores de diferentes parámetros preseleccionados a los que se aplica un “peso” o importancia relativa en el total del índice. Para su cálculo se seleccionaron el oxígeno disuelto, los coliformes fecales, el rango de pH, la demanda bioquímica de oxígeno, la cantidad de nitratos y fosfatos, el incremento de temperatura, la turbidez y la cantidad de sólidos totales (Microsoft Corporation, 1993-2003).

3.6.1.1 Parámetros físicos

- Temperatura ambiente, es la medida del calor almacenado en el agua. La capacidad del agua para almacenar calor es alta y esto hace que sea un elemento moderador del clima. La temperatura estable para su ingestión es de 10° C a 14° C (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

- La temperatura del agua en el río, es un parámetro muy importante que afecta directamente sus características físicas, químicas y biológicas. Usando un mismo termómetro, la temperatura del agua debería ser chequeada en el lugar de prueba y en un lugar similar 1 kilómetro río arriba.

Debe tenerse cuidado, cuando se tome la temperatura en este último sitio de muestreo, de que la cantidad de luz solar y la profundidad del río sean similares a las condiciones del primer lugar de muestreo (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

- Turbidez, se produce por la presencia de partículas insolubles (tales como la arcilla, el limo, la materia orgánica, el plancton, etc.) que se encuentran en suspensión en el agua. Hay que tener en cuenta que la turbidez es un efecto óptico causado por la dispersión de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua (Blanco, L.1.991; Aguirre, C. et al. 1.992).

A medida que el agua se vuelve más turbia pierde la capacidad de soportar una amplia variedad de plantas y otros organismos acuáticos (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2.003).

3.6.1.2 Parámetros químicos

- Sólidos totales, es una medida de los materiales sólidos disueltos en el agua de un río, y que incluyen las sales, algunas materias orgánicas y un amplio rango de nutrientes y materiales tóxicos (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Un nivel constante de minerales en el agua es requerido para el sustento de la vida acuática. La concentración de sólidos totales disueltos (TDS) muy elevada o muy baja limita el crecimiento y conduce a la muerte de la mayoría de las formas de vida acuática (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

El término se aplica al residuo que deja una muestra de agua después de evaporarse a una temperatura definida (por lo general entre 103-105° C). Los sólidos totales que están en un rango de 2.000 y 4.000 partes por millón (ppm) en el agua hacen que ella sea desagradable al paladar y tenga efectos laxantes en los seres humanos (Abud , J. y Mora, V. 2003).

- pH, el nivel de pH es una medida de acidez que expresa la concentración de iones hidrógeno o hidronios en el agua (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003). La mayoría de las formas de vida acuática tienden a ser muy sensibles al pH.

El agua que contiene una gran cantidad de polución orgánica tenderá generalmente a ser un poco ácida. El agua con un pH de 7 se considera neutra, si está por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 se dice que es alcalina (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

- Alcalinidad, es la capacidad del agua de neutralizar los ácidos y se debe a la presencia de iones bicarbonatos (HCO_3^{-1}), carbonatos (CO_3^{-2}) y oxidrilos (OH^{-1}) (Abud, J. y Mora, V. 2003).

- Oxígeno disuelto (OD), esta prueba mide la cantidad de oxígeno disuelto en el agua útil para sostener la vida. Éste representa el oxígeno disponible para los peces, invertebrados y los otros animales que viven en el agua (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

La mayoría de las plantas acuáticas y animales necesitan el oxígeno para vivir, de hecho los peces se ahogarían en el agua si los niveles de oxígeno disuelto son bajos. Los bajos niveles de OD son signos de posible polución de las aguas (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

En los líquidos residuales, la evaluación del oxígeno disuelto es el factor que determina si los cambios biológicos operados son debidos a organismos aeróbicos o anaeróbicos. Los primeros requieren oxígeno libre y producen sustancias inocuas mientras que los segundos toman el oxígeno de los compuestos que lo contienen y sus productos son malsanos (Abud, J. y Mora, V. 2002).

En consecuencia, la medida del oxígeno disuelto es de primera importancia si queremos corregir y mantener condiciones aeróbicas en las aguas que reciben toda clase de desecho (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

- Metales trazas, se encuentran en las aguas naturales o en las soluciones como consecuencia del lavado de los terrenos que éstas drenaron o procedentes de una contaminación. Tienen gran importancia debido al papel fisicoquímico y biológico que desempeñan. Los más significativos son el hierro (Fe), manganeso (Mn), Plomo

(Pb), magnesio (Mg), cadmio (Cd), sodio (Na) y potasio (K), y se expresan en mg/L. Los mismos no deben exceder los límites establecidos en la Norma 883 del Código Orgánico Ambiental (Abud, J. y Mora, V. 2003).

También en estos parámetros están los siguientes elementos: cloruro, sílice, sulfato, nitrato y fósforo (Abud, J. y Mora, V. 2003).

- Nitratos, representan una medida de la forma oxidada del nitrógeno que representa un macronutriente esencial en los ambientes acuáticos (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Los nitratos pueden ser dañinos para los humanos debido a que el intestino puede descomponerlos en nitritos, los cuales afectan la habilidad de transportar oxígeno por parte de las células rojas de sangre. Los nitritos pueden también causar serias enfermedades en los peces (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

- Fosfatos, son compuestos químicos constituidos por fósforo y oxígeno. Son necesarios para el crecimiento de las plantas y de los animales.

Los fosfatos pueden estar presentes en el agua de muchas formas, por lo que el parámetro fosfatos totales da un estimado de la cantidad total de fosfato potencialmente disponible en un cuerpo dado de agua (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), indica la capacidad de polución de un efluente, que se expresa por el consumo de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos que descomponen la materia orgánica presente en el propio

efluente. Se parte de la capacidad autodepurativa del agua conferida por los propios microorganismos (Abud, J. y Mora, V. 2003).

Este parámetro es una medida de la cantidad de comida para las bacterias que se encuentra en el agua. Éstas utilizan la materia orgánica en su respiración y remueven el oxígeno del agua (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

La prueba de DBO provee una idea aproximada de cuanto desecho biodegradable está presente en un agua. Este material biodegradable está conformado por desperdicios orgánicos que incluyen recortes de grasa, estiércol, etc. (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

- Dureza, es la capacidad que tiene el agua para precipitar el jabón, la formación de sedimentos y costras en las tuberías, y las unidades en las cuales se incrementa su temperatura (Blanco, L. 1.991; Aguirre, C. et al. 1992).

Para fines analíticos se define como la suma de concentraciones de todos los cationes metálicos, menos los alcalinos, expresados en concentraciones equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3) (Blanco, L. 1.991; Aguirre, C. et al. 1.992) (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Clasificación de la dureza en el agua (Blanco, L. 1.991; Aguirre, C. et al.1.992).

Concentración (mg/L)	Dureza del agua
0-75	Suaves
76-150	Poco Duras
151-300	Duras
> 300	Muy Duras

La dureza del agua se origina por diversas razones, algunas de las cuales son (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992):

Agua de lluvia infiltrada en el suelo y que entra en contacto con formaciones rocosas,

Adición de anhídrido carbónico por acción bacteriana,

Reacción ácida de las soluciones acuosas con CO_2 debido a la acción reversible del gas con el agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3). Bajo estas condiciones ácidas, las formaciones básicas, como la roca caliza insoluble, se disuelven para formar bicarbonato de calcio soluble.

3.6.1.3 Parámetros bacteriológicos

Este parámetro está representado por la determinación del número más probable (NMP) de organismos Coliformes totales y fecales (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

- Coliformes fecales, estos representan una forma de bacteria encontrada en los desperdicios de origen humano y animal (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2.003). Los indicadores más usados son la *Escherichia coli*, considerado el microorganismo indicador de contaminación fecal por excelencia.

- Coliformes totales, incluye todos los microorganismos gram-negativos, bacilos que no forman esporas y fermentan la lactosa produciendo gases de 48 horas al incubarlos a 35°C (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

El agua contaminada bacteriológicamente puede servir de vehículo para un gran número de enfermedades como la gastroenteritis producida por la *Escherichia coli*, la ascariasis producida por el *Áscari* y muchas otras enfermedades producto del consumo de un agua no apta para esto (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

3.6.2 Índice de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad del agua (ICA) es básicamente un medio matemático de calcular un valor simple a partir de múltiples resultados de pruebas realizadas a ésta. El índice resulta representar el nivel de calidad del agua en una cuenca dada, tal como un lago, río o corriente (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

El ICA, desarrollado a principios de la década de 1970, puede ser usado para monitorear los cambios en la calidad de una fuente particular de agua a través del tiempo, para comparar la calidad de una fuente de agua contra otra en una región o de cualquier otra parte del mundo y para determinar si una extensión particular de agua es saludable (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Para realizar los cálculos del índice de calidad del agua (ICA) de un río o cuerpo de agua, 9 parámetros seleccionados por The National Sanitation Foundation (NSF) son medidos, y se refieren al incremento o cambio en la temperatura del agua, la cantidad de oxígeno disuelto (OD), la cantidad de Coliformes fecales, la cantidad de fosfatos y nitratos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos totales, el pH y la turbidez (Apéndice D).

Sin embargo, después de que estas nueve pruebas de calidad del agua son completadas y los resultados registrados, un valor Q de calidad se debe calcular para cada parámetro. Es entonces cuando el ICA global, para la el lugar de muestreo,

puede ser calculado (Apéndice D), (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Resulta importante monitorear la calidad del agua durante un período de tiempo de manera que se puedan detectar cambios en su ecosistema. El ICA puede dar una indicación de la salud de un cuerpo de agua en un momento dado y en varios puntos, a la vez que puede ser usado para seguir la pista y analizar los cambios a través del tiempo (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

El Índice de Calidad del agua (ICA) usa una escala de 0 a 100 para categorizar la calidad de un agua. Una vez que el valor global del ICA se conoce, éste puede ser comparado contra la escala mostrada en la tabla 3.4 para determinar el estado saludable de un cuerpo de agua en un día dado. Las fuentes de agua con valores de ICA dentro del rango bueno a excelente son capaces de soportar una alta diversidad de vida acuática. Adicionalmente, éstas serían apropiadas para ser usadas en todas las formas de recreación, incluso aquellas que involucran el contacto directo con ellas (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Las fuentes que logran sólo un rango promedio de calidad generalmente tienen menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente incrementan el crecimiento de algas.

Por otra parte, los cuerpos de agua cuyo ICA caen dentro del rango de mala son sólo capaces de soportar una baja diversidad de vida acuática y es seguro que experimenten problemas de polución (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Tabla 3.4 Índices de calidad del agua, ICA (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2.003).

ICA	Calidad del Agua
0-25	Pésima
26-50	Mala
51-70	Media o promedio
71-90	Buena
91-100	Excelente

Las aguas de categoría pésimas pueden sólo ser capaces de soportar un número limitado de formas de vida acuática y se espera que contengan problemas abundantes de calidad. Una fuente de este último tipo generalmente no se consideraría aceptable para actividades que involucren el contacto directo con ella, por ejemplo, su uso en un balneario (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

3.6.3 Contaminación de las aguas

El agua se considera contaminada cuando presenta materia extraña indeseable que deteriora su calidad y la hace inaprovechable. Este grado de deterioro depende de la cantidad de materia extraña que se le haya adicionado y del tipo de materia o agentes contaminantes que ésta contenga (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

Los agentes contaminantes con mayor acción dentrificadora están conformados por desechos químicos (provenientes de industrias tales como pinturas), desechos de construcción, de mataderos industriales, desechos domésticos, etc., los cuales al ser arrojados directamente a las vertientes de agua o a las redes de cloacas de una ciudad inciden directamente sobre los recursos hídricos. Por ejemplo, las aguas servidas o negras contienen cantidades variables de sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de las actividades cotidianas de las

comunidades, y constituyen uno de de los principales agentes contaminantes (Blanco, L. 1991; Aguirre C. et al. 1992).

Entre los principales contaminantes se tienen (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992):

1. Las aguas residuales que tienen origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico o pluviales.
2. La infiltración se produce cuando se sitúan por debajo del nivel freático o cuando el agua de lluvia se filtra hasta el nivel de la tubería.
3. Los agentes infecciosos tales como bacterias.
4. Los nutrientes vegetales que estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas.
5. Los productos químicos, que incluyen pesticidas, productos industriales, detergentes, de hidrocarburos, etc.
6. Los sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por la lluvia.
7. Las sustancias radiactivas procedentes de residuos producidos por la minería, por las centrales nucleares, del uso industrial, médico y científico.
8. El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de las que se abastecen.

3.6.3.1 Efectos de la contaminación del agua

Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

La presencia de nitratos (sales de ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en acciones es mortal (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

El cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

Hace tiempo que se conoce o se sospecha de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992) (Tabla 3.5).

Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Existe un problema relacionado con la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo pueden ser los responsables (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

Tabla 3.5 Normas internacionales de agua potable límites para sustancias consideradas como tóxicas en el agua potable (Datos de la Organización Mundial de la Salud OMS en Blanco, L. 1.991; Aguirre, C. et al. 1.992).

Sustancia	Concentraciones Máximas Permitidas
Plomo	0,05
Arsénico	0,05
Selenio	0,01
Cromo (Cr Hexavalente)	0,05
Cianuro	0,20
Cadmio	0,01
Bario	1,00

El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos como mal sabor y olor, acumulación de algas o verdín desagradable a la vista, crecimiento denso de plantas con raíces, agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas, acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos asociados a la precipitación de carbonato de calcio en las aguas duras (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

Otro problema cada vez más preocupante es la lluvia ácida que deja muchos lagos totalmente desprovistos de vida (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

3.6.3.2 Definición de la contaminación de un curso de agua

Un curso de agua se considera contaminado o polucionado cuando la composición del estado de sus aguas son directa o indirectamente modificados por la actividad del hombre en una medida tal que disminuye la facilidad de utilización para todos

aquellos fines, o algunos de ellos, a los que podría servir en estado natural (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

El crecimiento progresivo de núcleos urbanos y rurales con el consiguiente aumento de la densidad poblacional, de sus actividades artesanales y ganaderas, el cultivo intuitivo de la tierra (para satisfacer las exigencias de aportación de recursos que contaminan las aguas subterráneas, los ríos, los lagos y mares) destruyen o modifican la fauna y la flora rompiendo el equilibrio del ecosistema así como también la armonía entre el hombre y el medio ambiente (Blanco, L. 1991; Aguirre, C. et al. 1992).

3.6.4 Fundamentos legales

En el área de estudio se realizan diversas actividades susceptibles de degradar el ambiente, y que inciden, directa o indirectamente, sobre la salud de la población. Esta situación conduce a tomar acciones preventivas y correctivas por las instituciones del estado venezolano, entiéndase Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Ministerio de Energía y Minas y Ministerio de Salud y Desarrollo Social, de acuerdo con la competencia y lo exigido por la normativa legal existente. En tal sentido, se deben tomar las medidas de protección a la salud pública de acuerdo a lo consagrado en el Artículo 127 de la constitución Bolivariana de la República de Venezuela, que expresa (Abud , J. y Mora, V. 2003):

...“es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener un ambiente en beneficio de sí mismo y el mundo futuro. Toda persona tiene un derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. Es una obligación fundamental del estado, con la

activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley”...

Esta disposición es recogida en forma explícita en la Ley Orgánica del Ambiente, cuando en su Artículo N° 3 Ordinal 5: “Establece como conservación, defensa y mejoramiento del ambiente” (Abud, J. y Mora, V. 2003). Cabe destacar que esta ley en su Artículo N° 21 consagra que las actividades susceptibles de degradar el ambiente sólo podrán ser autorizadas si se establecen garantías, procedimientos y normas para su corrección (Abud, J. y Mora, V. 2003).

En cuanto al control y preservación del ambiente se puede citar el Decreto Ejecutivo N° 883, relacionado con las “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”, donde se establece la clasificación de las aguas, las actividades sujetas a control, las diferentes formas de descargas (a cuerpos de agua, medio marino-costero, redes cloacales) así como del seguimiento y control y el régimen de adecuación que deben cumplir todas las actividades generadoras de contaminación (Abud, J. y Mora, V. 2003).

3.6.4.1 Legislación, factores estructurales

La legislación existente para el uso y reglamentación del agua, en el caso venezolano, es la siguiente (Abud, J. y Mora, V. 2003):

- Decreto Ejecutivo N° 883, del 11 de octubre de 1.995. Gaceta oficial N° 5.021 extraordinario del 18 de diciembre de 1.995, “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos y efluentes líquidos”.

- Ley Orgánica del Ambiente (1.978), “Reglamento Parcial N° 4 sobre la clasificación de las Aguas”.

Las disposiciones legislativas, relativas a la calidad de las aguas, deberán considerar los siguientes puntos de vista (Abud, J. y Mora, V. 2003):

- Conservación de los cursos: cursos de agua navegables, no navegables y cursos de aguas subterráneas.
- Salud pública: protección sanitaria del agua y alimentos, protección contra la contaminación.
- Vida piscícola: protección de la calidad del agua, protección contra la contaminación.
- Ubicación de industrias y algunas actividades pecuarias; por ejemplo, granjas porcinas, las cuales son insalubres y peligrosas.

3.6.4.2 Normas que rigen sobre contaminación de cuerpos de agua, valores permisibles

La calidad del agua es la condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos, está representada por el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que ella debe contener en su estado natural, las cuales pueden ser alteradas por el exceso de materiales extraños en el agua, ya sea por la actividad humana (contaminación) o por la acción de la naturaleza (polución) (Abud, J. y Mora, V. 2003).

La calidad y la temperatura también son importantes a la hora de analizar las causas que concurren para que el agua presente una calidad u otra. Lógicamente para una cantidad de contaminante dada, cuanto mayor sea la cantidad de agua receptora mayor será la dilución de los mismos y la pérdida de calidad será menor.

Por otra parte, la temperatura tiene relevancia ya que los procesos de putrefacción y algunas reacciones químicas de degradación de residuos potencialmente tóxicos se pueden ver acelerados por el aumento de la temperatura (Dojlido y Best, 1.993 citados por Abud, J. y Mora, V. 2003).

La tabla 3.6 muestra la clasificación oficial para los cuerpos de agua.

Las tablas 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 resumen los límites permisibles de elementos (niveles de calidad exigibles) para los diferentes tipos de aguas de acuerdo con los usos a que se destinen.

Las tablas 3.14 y 3.15 señalan las normas de calidad física y calidad química admitidos para las aguas según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1.971), que permiten complementar el análisis realizado por las tablas 3.7 a la 3.13.

En el Apéndice A.1 se muestran todas estas tablas.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Nivel de investigación

El marco metodológico del presente trabajo se realizó mediante los aspectos descritos por Balestrini, Acuña, citados por Abud, Jorge, 2002.

De acuerdo a los objetivos planteados, el tipo de investigación se enmarca dentro de los aspectos descriptivos.

4.2 Población de la investigación

La población o universo por estudiar se conciben como el espacio de donde se extraerá la muestra que se va a utilizar en la investigación. En este proyecto o universo está representado por las Estaciones seleccionadas en el río Aro, la cual limita por el Norte con el río Orinoco, por Este y Sur con la cuenca del río Caroní, por el Oeste con la cuenca del río Caura y la cuenca del río Pao y drena una superficie de 14.574 Km², en un longitud del cauce principal 275 Km.

4.3 Muestra de la investigación

Se define como un subgrupo de elementos de la población. Las muestras de agua recolectadas fueron 5 para determinar los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos e Índice de Calidad y 5 muestras de suelos para la realización de sus ensayos granulométricos, esféricidad y redondez; y minerales pesados presentes.

4.4 Diseño de la investigación

La metodología propuesta para la realización de este trabajo de investigación es de nivel descriptivo.

La figura 4.1, muestra el flujograma de la metodología aplicada en este trabajo investigación.

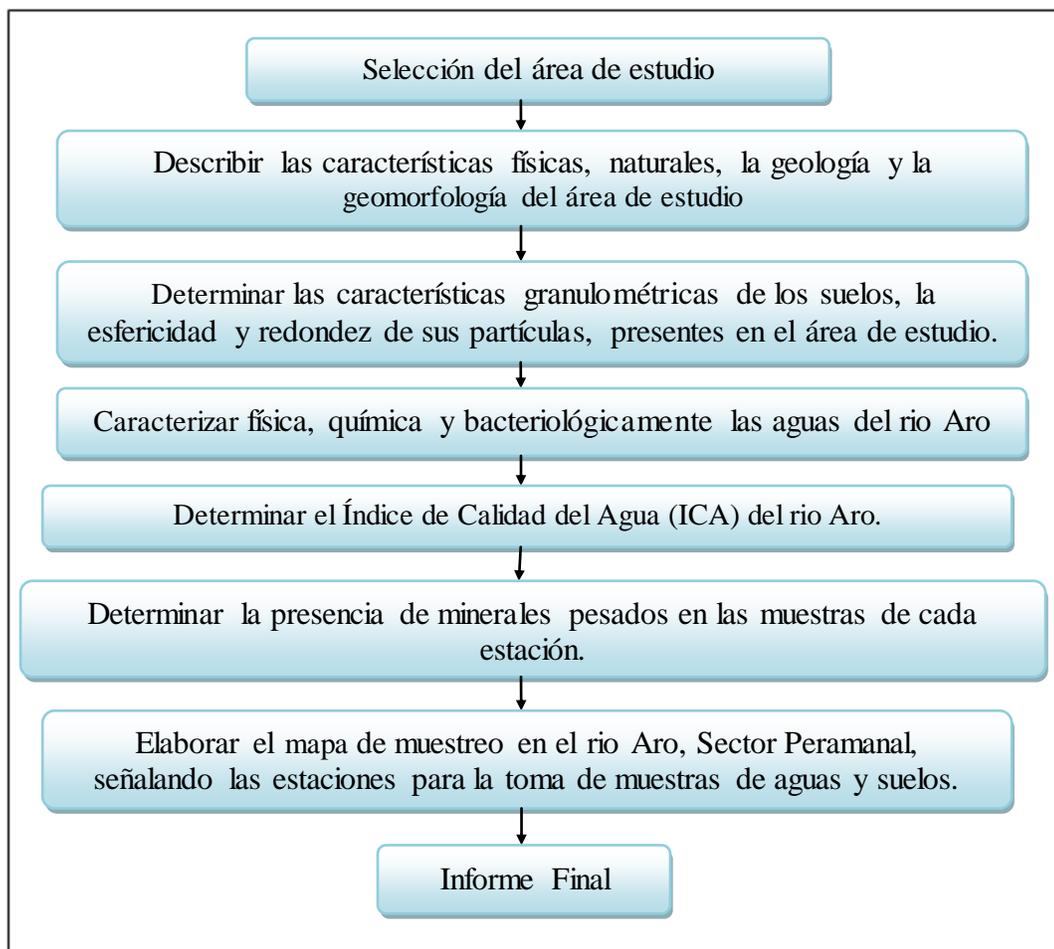


Figura 4.1 Flujograma de la metodología de la investigación.

4.5 Recopilación de la información

Para el desarrollo de la investigación fue necesaria la integración de fuentes bibliográficas y cartográficas. La primera, permitió conocer, reseñar y discutir los aspectos generales más resaltantes sobre el tema en estudio, para lo cual se consultaron trabajos previos llevados a cabo en el área (trabajos de grado, informes técnicos, etc.) provenientes de las fuentes de documentación de la Biblioteca de la Universidad de Oriente en Bolívar y del Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN). Adicional a las fuentes bibliográficas impresas, se incluyó información obtenida a través de comunicaciones personales y la provista por fuentes electrónicas como la Internet y de documentos personales. Para la información cartográfica se utilizaron como mapas bases, los suministrados por la Oficina de Planificación y Desarrollo Urbano de la Corporación Venezolana de Guayana de 1985, correspondiente a la hoja cartográfica Peramanal, a escala 1:100.000. Además de esta información, también se agrupó la información geológica y geomorfológica.

4.6 Descripción de la geología del área del río Aro

Para la descripción de la geología del área de estudio, se ubicaron y reconocieron estaciones de muestreo en campo (rocas, sedimentos y levantamiento de información). Las muestras de roca se tomaron en los afloramientos cercanos a la cuenca del río Aro, y se procuró que éstas no estuvieran fracturadas ni meteorizadas.

El muestreo se hizo con la finalidad de conocer la variedad petrológica de la zona. De igual manera, se realizó una descripción macroscópica de los afloramientos con la finalidad de observar variaciones en su litología, relaciones estratigráficas y rasgos estructurales.

Se recolectaron 5 muestras de sedimentos procedentes de la cuenca del río Aro, éstas se constituyen tanto de fracciones arcillosas como arenosas.

A estas muestras, se les realizaron estudios de análisis granulométrico, análisis de formas (grados de esfericidad y redondez de las partículas) y análisis de minerales pesados, es decir, se estudiaron tanto el tamaño de los granos como la procedencia de las partículas sedimentarias.

4.7 Descripción de la geomorfología del área del río Aro

Para la reinterpretación de la geomorfología de la zona de estudio se utilizó la hoja cartográfica Peramanal, a escala 1:100.000 de C.V.G Técnica Minera C.A., como mapa base, para luego con la ayuda de las curvas topográficas, caracterizar las diferentes formas de relieve presentes en el área. En esta hoja se ubicaron y delimitaron las diferentes formas de relieve reinantes en la zona de estudio.

Adicional a esto, se verificaron en campo los afloramientos del Complejo de Imataca, ya que estos se representan como formas topográficas aisladas. Se determinó que geomorfológicamente, el proceso de evolución del relieve en el área está íntimamente controlado por tres factores: la litología, la estructura de las rocas y los sedimentos.

Cabe destacar que este estudio se basó más que todo en determinar las diferentes formas de relieve presentes en el área.

4.8 Selección de los sitios para la toma de muestras

4.8.1 Muestreo de roca

Se escogieron los afloramientos cercanos a la cuenca del río Aro, ya que en estos sitios era donde se encontraban las rocas frescas y con poca meteorización.

4.8.2 Muestreo de sedimentos

Se realizó desde el nacimiento hasta la desembocadura del río Aro. Para esto se utilizaron bolsas plásticas, donde se colectaron un aproximado de 650 gramos de sedimentos, con el fin de realizarles análisis físicos y químicos.

4.8.3 Muestreo de aguas

Se realizó en cada una de las cuatro estaciones previamente seleccionadas, en los mismos sitios de muestreo para sedimentos del cauce del río, en la parte alta, media y baja de la cuenca hidrográfica del río Aro.

Las muestras de agua para los análisis físicos, químicos, bacteriológicos e Índice de Calidad, fueron tomadas del lecho del río transversalmente a lo ancho del canal en recipientes de plásticos de tapa enroscadas de un litro, identificadas con números empezando desde la naciente hasta la desembocadura.

Las muestras de agua seleccionadas se colocaron en una cava con hielo para ser preservados hasta su transporte a los laboratorios del Centro de Geociencias de la Universidad de Oriente en Bolívar, para sus respectivos análisis.

La temperatura del agua y del ambiente fue medida in situ en cada estación de muestreo.

La información relativa a los sitios de muestreo se asentó en el mapa de las unidades litológicas que afloran en el área y en el mapa hidrológico de la cuenca hidrográfica del río Aro.

4.9 Análisis de las muestras

4.9.1 Análisis físicos y químicos de los sedimentos

Para la caracterización de los sedimentos del río Aro, se usaron los siguientes parámetros físicos:

4.9.1.1 Análisis granulométricos

Todas las muestras de sedimento recolectadas en cada una de las estaciones del cauce del río Aro se llevaron al laboratorio de Suelo de la Escuela Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente-Núcleo Bolívar, se tamizaron para analizar sus granos (en función de su tamaño y forma) y clasificarlos.

Se obtuvieron medidas de tendencia central o valores en torno a los cuales se disponía la distribución de los sedimentos.

4.9.1.2 Análisis de esfericidad y redondez

A continuación se describe el procedimiento que se llevó a cabo para el análisis de esfericidad y redondez:

- Las muestras se llevaron al laboratorio, se procedió a secarlas se pasaron por el tamiz 40 y posteriormente se tomaron 5 gramos de cada una de ellas.
- Los 5 gramos de muestras seleccionadas, se lavaron con ácido clorhídrico en repetidas ocasiones, posteriormente se dejaron sumergidas durante 6 horas en dicha solución. Pasado este intervalo de tiempo, se lavaron nuevamente y se secaron al horno.
- Por último, se seleccionaron 400 gramos de cada muestra bajo el microscopio y se procedió a clasificarlos según su forma.

El método empleado fue la carta de comparación de esfericidad y redondez.

4.9.2 Análisis para determinar características físicas, químicas y bacteriológicas del agua

Las muestras de aguas seleccionadas se dispusieron en una cava con hielo para ser preservadas hasta su transporte a los laboratorios del Centro de Geociencias de la Universidad de Oriente, para sus respectivos análisis de caracterización física, química y biológica.

Adicionalmente, en cada una de las estaciones de muestreo de agua se llevaron a cabo mediciones in situ para determinar la temperatura del agua, su apariencia, olor, color, pH, la cantidad de oxígeno disuelto, entre otros factores.

La tabla 4.1, 4.2 y 4.3 muestran un resumen de los parámetros químicos y metodologías empleadas para el análisis de las muestras de agua del río Aro (Modificada de Abud J., y Mora, V., 2003) (Apéndice A.2).

4.9.3 Índice de calidad de las aguas (ICA)

Para realizar los cálculos del índice de calidad del agua (ICA) en cada estación, se midieron los parámetros seleccionados por The National Sanitation Foundation (NSF) y se refirieron al incremento o cambio en la temperatura del agua, la cantidad de oxígeno disuelto (OD), la cantidad de coliformes fecales, la cantidad de fosfatos y nitratos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos totales, el pH y la turbidez.

Luego, después de que estas nueve pruebas de calidad del agua son completadas y los resultados registrados, se calculó un valor Q de calidad para cada parámetro, calculando después el ICA global, construyéndose los llamados termómetros, (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

Los cálculos fueron realizados manualmente por el Técnico de Laboratorio de Geociencias, Sr., Farias, A., a partir de los termómetros, según The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003.

4.10 Elaboración del mapa geológico del área

Para la elaboración del mapa geológico se preparó, en primer lugar, un mapa topográfico de la cuenca hidrográfica del río Aro, según las hojas cartográficas anteriormente citadas. A partir de estos mapas, y previamente levantada la información de campo en cuanto a los rasgos geológicos aflorantes en el área, se elaboró el mapa geológico. Con estos datos y apoyados en los mapas geológicos realizados por el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), a escala 1:100.000, se delimitaron y cartografiaron las unidades geológicas presentes en la zona. Luego se procedió a digitalizar el mapa con la ayuda del software AutoCad 2012 (Anexo2).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

5.1 Unidades geológicas

En el área delimitada por la cuenca del río Aro, afloran rocas de las Provincias Geológicas de Imataca, Pastora y Cuchivero; de edad arqueozoica la primera y proterozoica las dos siguientes. Además, se localizan sedimentos de la Formación Mesa, de edad pleistocénica y sedimentos aluviales de edad reciente. También está presente en el área una unidad de origen deposicional residual de edad desconocida; así como también diversos cuerpos de rocas intrusivas básicas, de edad mesozoica; que en forma de dique cortan las rocas de las provincias geológicas aflorantes en la zona de estudio.

La Provincia Geológica de Imataca, cubre la parte central del área y se extiende al Sur hasta su contacto con las rocas de la Provincia Geológica de Pastora. Está representada por rocas del Complejo de Imataca y por intrusivos graníticos jóvenes; afloran en el área diversidad de gneises con filones pegmatíticos, granulitas félsicas y máficas, charnockitas, cuarcitas ferruginosas, granitos e intrusivos más jóvenes tales como monzonitas, granitos y granodioritas. Los rasgos estructurales más resaltantes son plegamientos, fallas, domos, foliaciones y diaclasas.

De la Provincia Geológica de Pastora, se localiza afloramientos al Noroeste, centro y Sur de la zona; se encuentran rocas de los grupos Carichapo y Real Corona, ambos del Super Grupo Pastora; del Complejo de Supamo e intrusivos graníticos jóvenes. El Grupo Carichapo está representado por rocas del Grupo Carichapo S/D tales como anfibolitas con afinidad toleítica y/o Komatítica. Del Grupo Real Corona se encuentran las formaciones Hato Sucio, Anfibolita de Danta, Zárate, Mapares y Taipana, las rocas representativas de estas formaciones son anfibolitas, meta-

piroxenitas, esquistos, cuarcitas ferruginosas, conglomerados de cuarzo, meta-chert y meta-areniscas. Estructuralmente se diferencian fallas, pliegues, domos, foliaciones y diaclasas.

El área cubierta por la Provincia Geológica de Cuchivero, se ubica al Sur, Suroeste y Sureste de la zona. Afloran rocas del Grupo Cuchivero S/D, rocas volcánicas tipo Formación Caicara e intrusivos graníticos jóvenes. Del Grupo Cuchivero S/D se tienen rocas graníticas y lavas y/o tobas de carácter ácido a intermedio; entre las rocas volcánicas tipo Formación Caicara se encuentran rocas piroclásticas ácidas como riolitas, riolacitas y dacitas alteradas, así como también rocas de carácter intermedio como cuarzo-andesitas.

Los cuerpos intrusivos jóvenes están constituidos por granitos alcalinos, granodioritas, monzonitas y cuarzodioritas. Los rasgos estructurales más representativos son fallas, foliaciones y diaclasas.

Las rocas intrusivas básicas, esencialmente diabasas, se presentan como diques aislados, intrusinando rocas de las Provincias Geológicas de Imataca, Pastora y Cuchivero; y como enjambres de diques, en dirección NW, cortando rocas de la Provincia Geológica Imataca.

La Formación Mesa aflora al Norte del área, como una secuencia de arcillas, limolitas y arenas limolíticas. Los sedimentos de origen aluvional tales como limos, arcillas y gravas de cuarzo se encuentran en los bordes de los ríos y otros cursos de agua existentes en el área. Al SW del área de estudio y abarcando una gran extensión, se localiza un depósito de arenas blancas y grises de origen residual/deposicional, de edad indeterminada; estos sedimentos bordean los depósitos aluvionales del río Aro y las rocas de las Provincias Geológicas de Pastora y Cuchivero.

5.2 Unidades geomorfológicas

Los afloramientos del Complejo de Imataca se presentan como formas topográficas aisladas, mientras que los de la Formación Mesa están presentes en las sabanas que conforman el valle, las cárcavas y las planicies de inundación localizadas dentro de la cuenca hidrográfica del río Aro.

Sin embargo, en el área también intervienen factores como el clima, la meteorización, la erosión y el factor “hombre” (erosión antrópica).

La evolución del relieve comienza sobre un basamento precámbrico erosionado de superficie irregular y naturaleza ígneo-metamórfica, correspondiente a rocas del Complejo de Imataca, en el cual se depositaron los sedimentos de la Formación Mesa.

El drenaje del área, de tipo dendrítico, fue establecido posteriormente y caracteriza su estado actual (cárcavas), producto de los procesos geomorfológicos que se han desarrollado sobre la situación original ya comentada.

Así se explica la presencia en el área de un relieve subhorizontal, plano, que ha sido erosionado y continúa erosionándose, originando una amplia zona de suaves pendientes (0-4%) y de paredes verticales (barrancos).

5.3 Sitios de muestreo

El mapa de muestreo se realizó con el software AutoCad 2012, señalando los sitios donde se tomaron las muestras de rocas, sedimentos y agua; y se muestra en el anexo 1. El mapa geológico del área de estudio en el anexo 2, en el que se aprecian seis unidades litológicas bien diferenciadas, de más antigua a más joven: Granitos

Parguazenses, Complejo de Imataca, Granitos Sintectónicos Transamazónicos Tempranos, Complejo El Cedral, Formación Hato Sucio y Formación Mapares.

5.4 Análisis de las muestras

5.4.1 Análisis granulométrico por tamizado de los sedimentos

Se analizaron únicamente 5 muestras de sedimentos recolectadas en el área de estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis granulométricos, tomando como referencia la tabla de clasificación de tamaño de grano de las partículas propuesta por Wentworth (Calzadilla, N. y Flores, N. 2004) (Tabla 3.1). En cada muestra de sedimentos se determinó que predominan las arenas de grano medio a fino, presentando similares texturas, tal como lo muestran las características obtenidas de las curvas granulométricas (Apéndice B):

Muestra de la Estación 1 (La Esperanza aguas arriba) Coordenadas U.T.M. (846843,72 N; 373591,44 E): arena de grano medio a fino, se encuentra bien escogida, el escogimiento máximo se encuentra hacia las fracciones medias, posee un pico poco cerrado, con una uniformidad aceptable.

Muestra de la Estación 2 (La Esperanza aguas abajo), Coordenadas U.T.M. (841112,21 N; 375829,17 E): arena de grano medio a fino, se encuentra bien escogida, el escogimiento máximo se encuentra hacia las fracciones medias, posee un pico poco cerrado, con una uniformidad aceptable.

Muestra de la Estación 3 (Santa. María de Amoroso), Coordenadas U.T.M. (834194,98 N; 383116,26 E): arena de grano medio a fino, se encuentra bien escogida, el escogimiento máximo se encuentra hacia las fracciones finas, posee un pico poco cerrado, con una uniformidad aceptable.

Muestra de la Estación 4 (Puente sobre el río Aro), Coordenadas U.T.M. (826750,00 N; 386213,04 E): arena de grano medio a fino, bien escogida, escogimiento máximo hacia las fracciones finas, con un pico poco cerrado y uniformidad aceptable.

En la Estación 5 (Desembocadura), Coordenadas U.T.M. (813817,19 N; 389138,81 E) no se tomaron muestras de sedimentos, sólo de aguas.

5.4.2 Análisis de esfericidad y redondez de los sedimentos

Los análisis de esfericidad y del grado de redondez indican que un alto rango de estas partículas sedimentarias son angulosas a subangulosas, es decir, se encuentran cercanas a su fuente de origen (Tabla 5.1). Los Histogramas para 5 muestras tomadas en 5 estaciones respectivas, se representan en el Apéndice C.

Tabla 5.1 Grados de redondez de las partículas sedimentarias que conforman los sedimentos presentes en el cauce del río Aro, año 2013.

Grado de redondez	Estación 1 La Esperanza aguas arriba. (Número de partículas-%)	Estación 2 La Esperanza aguas abajo. (Número de partículas- %)	Estación 3 Santa María de Amoroso. (Número de partículas- %)	Estación 4 Puente sobre el río Aro. (Número de partículas -%)	Estación 5 Desembocadura del río Aro (Número de partículas-%)
Angulosos	165-82.5	152-76	146-73	145-72.5	145-72.5
Subangulosos	29-14.5	36-18	32-16	37-18.5	41-20.5
Subredondeados	4-2	7-3.5	14-7	12-6	8-4
Redondeados	2-1	5-2.5	8-4	6-3	6-3
Bien Redondeados	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0

5.4.3 Minerales pesados

El análisis de las muestras de sedimentos recientes se recolectaron en las Estaciones 1, 2, 3 y 4, mostrando lo siguiente:

Muestra de la Estación 1 (La Esperanza aguas arriba) Coodenadas U.T.M (826750,00 N; 386213,04 E): se observa gran cantidad de minerales opacos (óxidos de hierro) con formas que van desde angulosos hasta subredondeados.

El mineral circón se presenta en formas euhedrales, subeuhedrales y anhedrales semialterados, por lo que algunos cristales se observan redondeados, por la acción del transporte sufrido. El mineral turmalina se presenta en cristales anhedrales poco fracturados.

Muestra de la Estación 2 (La Esperanza aguas abajo) Coodenadas U.T.M (841112,21 N; 375829,17 E): Se observa gran cantidad de minerales opacos (óxidos de hierro) con formas que van desde angulosos hasta subredondeados, dispersos por toda la sección. El mineral circón se presenta en formas redondeadas y subredondeadas poco alteradas.

Muestra de la Estación 3 (Santa. María de Amoroso) Coordenadas U.T.M (834194,98 N; 383116,26 E): se observa gran cantidad de minerales opacos (óxidos de hierro) con formas que van desde angulosos hasta subredondeados. El mineral circón se presenta en formas euhedrales, subeuhedrales y anhedrales muy alterados algunos cristales se observan redondeados, por la acción del transporte sufrido. El mineral turmalina se presenta en cristales anhedrales poco fracturados.

Muestra de la Estación 4 (Puente sobre el río Aro) Coordenadas U.T.M (826750,00 N; 386213,04 E): se observa gran cantidad de minerales opacos (óxidos de hierro, hematita, magnetita) con formas que van desde angulosos hasta subredondeados. El mineral circón se presenta en formas euhedrales, subeuhedrales y anhedrales muy alterados algunos cristales se observan redondeados, por la acción del transporte sufrido.

5.4.3.1 Minerales opacos (óxido de hierro, hematita, magnetita, ilmenita, pirita)

Se presentan en formas que van desde angulosos a subredondeados, es decir, algunos exhiben poca o ninguna prueba de desgaste, conservando su forma primitiva con caras virtualmente intactas pero con aristas y vértices redondeados en cierto grado, mientras que el resto muestra los considerables efectos típicos del desgaste, con aristas y vértices redondeados en curvas suaves y superficie de caras primitivas bastante reducidas. Estos minerales se encuentran en un porcentaje bastante elevado, con promedio del 93%, y se interpretan como haber sufrido un transporte moderado.

5.4.3.2 Minerales estables (circón y turmalina)

El mineral circón, presente en un promedio del 5%, se presenta en formas euhedrales, subeuhedrales y anhedrales muy alterados, algunos cristales exhiben poca alteración, se observan redondeados a subredondeados por la acción del transporte sufrido. El mineral turmalina se presenta en promedio del 2%, con cristales anhedrales poco fracturados. La forma de estos minerales (redondeados a subredondeados) se interpreta como haber sufrido una abrasión y transporte en grado moderado, probablemente con ciclos de redepositación.

5.5 Análisis para determinar la calidad del agua

5.5.1 Parámetros físicos

Los valores obtenidos en las mediciones de los parámetros físicos realizados a las aguas del río Aro en el año 2013 se resumen en la tabla 5.2.

5.5.1.1 Turbidez

Varían entre 25 UNT en las Estaciones No. 1 y 2 a 30 UNT en la Estación No. 5, y los mismos fueron obtenidos a lo largo del recorrido de la cuenca del río Aro en el año 2013.

Se interpreta los resultados como el producto del material mineral (arcilla y limo) y orgánico en suspensión arrastrado por las aguas.

El rango permitido es de 250 UNT como proporción aceptable (según Decreto Ejecutivo N^o. 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1995).

5.5.1.2 Temperatura ambiente

Los valores varían en un rango de 28 °C en las Estaciones No. 1, 2 y 3 a 30 °C en las Estaciones No. 4 y 5, ésta diferencia es debida al porcentaje de humedad y al período de la toma de dicha temperatura, siendo este de 10:00 AM a 2:00 PM.

5.5.1.3 Temperatura del agua

Los valores oscilaron entre 26 °C en la Estaciones No. 1, 2 y 3 a 28 °C en las Estaciones No. 4 y 5. La temperatura es un parámetro físico que posee el agua que se puede tomar con un instrumento llamado hidrotérmetro, el cual se introduce en el agua sin dejar que el sensor tenga contacto con el fondo del río, sino, que se mantenga entre la superficie del agua y el fondo, durante unos cuantos segundos, tiempo suficiente para la detección de la temperatura, la cual es mostrada en una pantalla que posee el aparato. La unidad de temperatura utilizada es el grado Celsius o Centígrado (°C). Aunque el agua varía su temperatura respecto al sitio de medición, este parámetro se mantiene en un rango de varianza no mayor del 2%. Sin embargo las lecturas de temperatura son más propensas a cambios, puesto que, una corriente de aire desplazada hacia el sitio de medición, provoca un cambio en la lectura.

Tabla 5.2 Parámetros físicos medidos para las aguas del río Aro, año 2013.

Parámetros	ESTACIONES					Decreto Ejecutivo No. 883
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	
	La Esperanza aguas arriba	La Esperanza aguas abajo	Santa María de Amoroso	Puente sobre el río Aro	Desembocadura	
Turbidez (UNT)	25	25	30	30	35	<250 UNT
Temperatura Ambiente °C	28	28	28	23	30	<32
Temperatura del Agua °C	26	26	26	28	28	<32

5.5.2 Parámetros químicos

Cada una de las variables obtenidas en las mediciones de los parámetros químicos se resumen en la tabla 5.3:

5.5.2.1 pH

Los valores, varían en un rango comprendido entre 6,83 unidades (Estación No. 2) a 6,86 unidades (Estación No. 5), el cual está dentro de los límites permitidos para las aguas tipo 1 (según Decreto Ejecutivo N^o. 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1995).

5.5.2.2 Alcalinidad

Presenta valores que varían entre 14 mg/L en la Estación No. 1 a 17 mg/L en la Estación No. 5, con valores permisibles hasta 1300 mg/L (según Decreto Ejecutivo N^o 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995). Su incremento está basado en función del aporte de las aguas residuales y de los sedimentos sólidos que son arrastrados a través del cauce del río que van desde su nacimiento hasta su desembocadura.

5.5.2.3 Oxígeno disuelto (OD)

Se encuentra en un rango de 4,20 mg/L en la Estación No. 5 a 4,39 mg/L en la Estación No. 1, lo cual indica que está dentro del rango establecido que es mayor a 4 mg/L como máximo (según Decreto Ejecutivo N^o 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995).

La diferencia se puede asociar a la presencia de compuestos orgánicos en fase de descomposición, al represamiento de las aguas o a las descargas de aguas residuales.

5.5.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Se ubican valores que están entre 0,08 mg/L en la Estación No. 1 a 0,11 mg/L en la Estación No. 3, (según Decreto Ejecutivo N° 883 Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995), registrándose el valor más alto en la Estación No. 3.

Su incremento se debe a la presencia de descargas de aguas residuales que van al cauce del río.

5.5.2.5 Nitratos (NO₃)

Los valores se encontraron en un rango que varió de 5.29 mg/L en la Estación No. 1 a 5.96 mg/L en la Estación No. 5, esta variación está asociada a la descomposición de materia orgánica vegetal, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo al Decreto Ejecutivo N° 883.

5.5.2.6 Fosfatos (PO₄)

Los valores se encontraron en un rango que varió de 0.23 mg/L en la Estación No.1 a 0.32 mg/L en la Estación No. 3, la diferencia entre estos valores se debe al arrastre de sedimentos meteorizados de rocas portadoras de este elemento, que provienen de la erosión del suelo.

5.5.2.7 Dureza total

Se encuentra un valor mínimo de 22 mg/L en las Estación No. 3, mientras que en las Estaciones No. 2 ,4 y 5 un valor máximo de 24 mg/L, según Decreto Ejecutivo N°. 883. Lo cual indica que las aguas del río Aro son blandas por estar por debajo de los valores permisibles.

5.5.2.8 Cloruros

Tienden a variar de 27 mg/L en la Estación No. 1 hasta 31 mg/L en la Estación No. 5, con valores permisibles según Decreto Ejecutivo N° 883, menor de 70 mg/L.

5.5.2.9 Magnesio

El rango que se registró, presenta una variación entre 1.42 mg/L en la Estación No. 2 a 1.54 mg/L en la Estación No. 5, teniendo un valor permisible de 70 mg/L según Decreto Ejecutivo N°. 883. Este incremento es debido al aporte de sedimentos producto de los procesos biológicos.

5.5.2.10 Hierro

Sus valores variaron de 0.12 mg/L en las Estaciones No. 2, 4 y 5 a 0.13 mg/L en las Estaciones No. 1 y 3, para el año 2013.

5.5.2.11 Calcio

Los valores se encontraron en un rango de 6,45 mg/L en la Estación No.1 a 6,63 mg/L en la Estación No. 5, estos valores son ligeramente inferiores y se encuentran en baja concentración.

5.5.2.12 Sólidos Totales (ST)

Los valores oscilaron entre 157 mg/L en la Estación No. 1 a 176 mg/L en la Estación No. 5, esta diferencia de valor se debe a la acumulación de sedimentos y sólidos que son arrastrados desde la naciente hasta la desembocadura del río. De acuerdo al Decreto Ejecutivo N° 883, se encuentran dentro del límite permisible, siendo este de 1500 mg/L.

Tabla 5.3 Parámetros químicos obtenidos para las aguas del río Aro, año 2013.

Parámetros	ESTACIONES					Decreto Ejecutivo No. 883
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	
PH (unidades)	6.85	6.83	6.84	6.84	6.86	Mínimo 6 y máximo 8,5
Alcalinidad (mg/L)	14	16	15	16	17	1300 mg/L
OD (mg/L)	4.39	4.35	4.25	4.22	4.20	>4 mg/L
DBO (mg/L)	0.08	0.10	0.11	0.10	0.10	
NO₃ (mg/L)	5.29	5.36	5.49	5.85	5.96	10 mg/L
PO₄ (mg/L)	0.23	0.27	0.32	0.28	0.31	
Dureza T. (mg/L)	23	24	22	24	24	500 mg/L
Cloruros (mg/L)	27	29	24	29	31	70 mg/L
Magnesio (mg/L)	1.48	1.42	1.51	1.52	1.54	
Hierro (mg/L)	0.13	0.12	0.13	0.12	0.12	600 mg/L
Calcio (mg/L)	6.45	6.62	6.53	6.59	6.63	
ST (mg/L)	157	161	165	172	176	1500 mg/L

5.5.3 Parámetros bacteriológicos

5.5.3.1 Coliformes fecales

Los valores de los coliformes fecales se encontraron ausentes a lo largo de toda la cuenca excepto en la Estación No.5 con 2 NMP/100ml de agua; este valor obtenido se encuentra por debajo del límite permisible según Decreto Ejecutivo N° 883.

5.5.3.2 Coliformes totales

Presentó un rango de $1,4 \times 10^2$ NMP/100 ml en la Estación No.1 a $2,5 \times 10^2$ NMP/100 ml en las Estaciones 4 y 5. El promedio mensual debe ser menor a 1000 NMP por cada 100 ml de agua (según Decreto Ejecutivo N° 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995), la diferencia se interpreta debido a la presencia de criaderos de animales domésticos, descarga de aguas negras, diferentes vertederos de basura y desechos sólidos (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Parámetros bacteriológicos medidos en las aguas del río Aro, año 2013.

Parámetros	ESTACIONES					Decreto Ejecutivo No. 883
	1	2	3	4	5	
	La Esperanza aguas arriba	La Esperanza aguas abajo	Santa María de Amoroso	Puente sobre el río Aro	Desembocadura	
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	2	1000 NMP/100 ml y 100 NMP/100 ml
Coliformes Totales (NMP/100ml)	$1,4 \times 10^2$	$1,7 \times 10^2$	$2,2 \times 10^2$	$2,5 \times 10^2$	$2,5 \times 10^2$	1000 NMP/100 ml y 100 NMP/100 m

El resultado de la clasificación de las Aguas del río Aro para el año 2013, (según Decreto Ejecutivo N° 883, del 11 de octubre de 1.995. Gaceta oficial N° 5.021 extraordinario del 18 de diciembre de 1.995, “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”), son del Tipo 1 – Sub Tipo 1 B, la cual son aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

5.5.4 Índice de Calidad del Agua para los ríos según “The National Sanitation Foundation (NSF)”, según Brown et al. (1970)

En la tabla 5.5, se puede observar que la mayoría de los parámetros en cada una de las estaciones presenta un valor promedio de 63,43 Q (ICA), en comparación a los rangos de clasificación (según la National Sanitation Foundation, tabla 3.4), la calidad del agua en cada una de las estaciones en el área de muestreo, tienen una clasificación de índice de calidad de agua, de MEDIA, estos cálculos por estaciones fueron realizados aplicando la hoja de cálculo para el índice de calidad del agua (ICA) para el río (Apéndice D).

Tabla 5.5 Resumen de los índices de calidad de aguas (ICA) obtenidos para el río Aro, año 2013.

Parámetro	Estación 1 La Esperanza aguas arriba	Estación 2 La Esperanza aguas abajo	Estación 3 Santa María de Amoroso	Estación 4 Puente sobre el río Aro	Estación 5 Desembocadura
ICA (%)	69,33	67,14	63,65	59,68	57,37
EVALUACIÓN	PROMEDIO: 63,43 Q , (CALIDAD MEDIA)				

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En el área estudiada, la cuenca del río Aro, afloran rocas de las Provincias Geológicas de Imataca, Pastora y Cuchivero; de edad arqueozoica la primera y proterozoica las dos siguientes. Además, se localizan sedimentos de la Formación Mesa, de edad pleistocénica y sedimentos aluviales de edad reciente. También está presente en el área una unidad de origen deposicional residual de edad desconocida; así como también diversos cuerpos de rocas intrusivas básicas, de edad mesozoica; que en forma de dique cortan las rocas de las provincias geológicas aflorantes en la zona de estudio.

Geomorfológicamente, el proceso de evolución del relieve en el área está íntimamente controlado por tres factores: la litología, la estructura de las rocas y los sedimentos. Sin embargo, en el área también intervienen factores como el clima, la meteorización, la erosión y el factor “hombre” (erosión antrópica).

En el área de estudio, se analizaron cinco (5) muestras de sedimentos, en las cuales predominaban las arenas de grano medio a fino, presentando similares texturas según las curvas granulométricas realizadas para cada estación.

En todas las estaciones se determinó arenas de grano medio a fino, bien escogidas, y el escogimiento máximo se encuentra hacia las fracciones finas. Todas poseen un pico poco cerrado, con una uniformidad aceptable.

En cuanto a la redondez y esfericidad de las partículas de los sedimentos, en las cinco (5) estaciones, según los histogramas de frecuencia, resultaron de angulosos a sub-angulosos, lo cual indica que han sufrido poco transporte, es decir, son In Situ.

El análisis de las muestras de sedimentos recientes recolectadas a lo largo del lecho del río Aro, para determinar la presencia de minerales pesados, evidenciaron que para cada una de las estaciones existe gran cantidad de minerales opacos como el óxido de hierro, (hematita, magnetita, solo para la estación 4) con formas que van desde angulosos hasta subredondeados. (Dispersos por toda la sección, solo para la estación 2). En relación con el mineral circón, éste se presenta en formas euhedrales, subeuhedrales y anhedrales semi alterados (Estación No. 1), poco alterados (Estación No. 2), y muy alterados (Estaciones No. 3 y 4), por lo que algunos cristales se observan redondeados, por la acción del transporte sufrido. Sin embargo, el mineral turmalina se presenta en cristales anhedrales poco fracturados.

Los minerales opacos (óxido de hierro, hematita, magnetita, illmenita, pirita, entre otros.), se presentan en formas que van desde angulosos a subredondeados, conservando su forma primitiva con caras virtualmente intactas, pero con aristas y vértices redondeados en cierto grado, mientras que el resto muestra presenta los considerables efectos típicos del desgaste, con aristas y vértices redondeados en curvas suaves y superficie de caras primitivas bastante reducidas. Es importante destacar, que estos minerales se encuentran en un alto porcentaje (93%), y se interpretan como haber sufrido un transporte moderado.

Los minerales estables, en esta zona se encuentran el circón y la turmalina. El Circón está presente en un promedio del 5%, se exhibe en formas euhedrales, subeuhedrales y anhedrales muy alterados, algunos cristales presentan poca alteración, se observan redondeados a subredondeados por la acción del transporte sufrido. La turmalina se presenta en promedio del 2%, con cristales anhedrales poco fracturados. La forma de estos minerales (redondeados a subredondeados) se interpreta como haber sufrido una abrasión y transporte en grado moderado, probablemente con ciclos de redepositación.

En cuanto a los parámetros físicos de la calidad del agua para el año 2013, los resultados de la turbidez variaron entre 25 U.N.T. (Estaciones No.1 y 2) a 35 U.N.T. (Estación No. 5). Esto permite interpretar que se debe al poco material mineral (arcilla y limo) y orgánico en suspensión arrastrado por las aguas a lo largo de cuenca del río Aro. Sin embargo, puede considerarse que está por debajo del rango permitido, (250 UNT) como proporción aceptable según Decreto Ejecutivo N° 883 emanado del ejecutivo nacional.

Para la temperatura del agua, los valores variaron entre 26 °C en las Estaciones No. 1, 2 y 3 a 28 °C en las Estaciones No. 4 y 5, ya que al considerar que el agua varía su temperatura respecto al sitio de medición (temperatura ambiente), existiendo entre las dos un rango de varianza no mayor del 2%. Sin embargo las lecturas de temperatura ambiente son más propensas a cambios, puesto que, una corriente de aire desplazada hacia el sitio de medición, provoca un cambio en la lectura.

Para efectos del estudio de los parámetros químicos como el pH, alcalinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, magnesio y calcio, del río Aro en para el año 2013, se obtuvo: pH, se mantuvo en el rango comprendido entre 6,83 unidades (Estación No. 2) a 6,86 unidades (Estación No. 5), el cual, califica para las aguas tipo 1 según el Decreto Ejecutivo N° 883.

La alcalinidad, presentó valores que varían entre 14 mg/L (Estación No.1) a 17 mg/L (Estación No. 5), cuyos valores permisibles son hasta 1300 mg/L de acuerdo al Decreto Ejecutivo No. 883, el cual, considera que el incremento está en función del aporte de aguas residuales y de los sedimentos sólidos arrastrados a través del cauce del río desde su nacimiento hasta su desembocadura.

El oxígeno disuelto, presentó un rango de 4,20 mg/L (Estación No.5) a 4,39 mg/L (Estación No.1), con rango establecido mayor a 4 mg/L como máximo según lo

establecido en el Decreto Ejecutivo N^o. 883. Por ello, la diferencia puede estar asociada a la presencia de compuestos orgánicos en fase de descomposición, al represamiento de las aguas o a las descargas de aguas residuales.

La demanda bioquímica de oxígeno, resultó entre los valores de 0,08 mg/L (Estación No.1) a 0.11 mg/L (Estación No. 3), según el Decreto Ejecutivo No. 883 de fecha 18 de Diciembre de 1995. Esta diferencia se debe a la presencia de descargas de aguas residuales al cauce del río.

La dureza total del agua, arrojó valores de 22 mg/L (Estación No. 3) a 24 mg/L Estaciones 2, 4 y 5), y de acuerdo al Decreto Ejecutivo No. 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1995, permite considerar las aguas del río Aro, como blandas por estar por debajo de los valores permisibles.

El magnesio, presentó un rango variación entre 1,42 mg/L (Estación No. 2) a 1,54 mg/L (Estación No. 5) siendo su valor permisible de 70 mg/L de acuerdo a lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1995. Este incremento se debe al aporte de sedimentos producto de los procesos biológicos.

Para el calcio, los valores se encontraron en el rango de 6,45 mg/L (Estación No.1) a 6,63 mg/L (Estación No.5). Estos valores son ligeramente inferiores y se encuentra en baja concentración.

Los parámetros bacteriológicos: Coliformes fecales, los valores se encontraron ausentes en las Estaciones No. 1, 2, 3 y 4, presntando un valor de 2 NMP/100ml de agua en la Estación No. 5; este valor obtenido se encuentra por debajo del límite permisible establecido en el Decreto Ejecutivo N^o 883. Para los Coliformes totales, se obtuvo un rango de 1.4×10^2 NMP/100 ml en la Estación No. 1 a 2.5×10^2 NMP/100

ml en las Estaciones No. 4 y 5. El promedio mensual debe ser menor a 1000 NMP por cada 100 ml de agua, según el Decreto Ejecutivo N^o. 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995), por lo tanto, esta diferencia se puede interpretar que existe la presencia de criaderos de animales domésticos, descarga de aguas negras, diferentes vertederos de basura y desechos sólidos.

Las características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas del río Aro, para principio del año 2013, analizadas, para todas las estaciones de muestreo, de acuerdo al Decreto Ejecutivo No. 883 sobre las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos, divulgados en Gaceta Oficial N^o. 5021, extraordinario (1995), son del Tipo 1, Sub Tipo 1B, la cual son aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, para el consumo humano, lo cual concuerda con trabajos anteriores.

El Índice de Calidad del agua, promedio, para las cinco (5) estaciones resultó de 63,43 Q (ICA), ubicándolas según la clasificación de la NSF International como aguas con Índice de Calidad del Agua como MEDIA y en cuanto a la dureza por los contenidos de sodio (Na) y potasio (K) como aguas blandas, lo que permite afirmar que estas aguas pueden ser usadas en todas las formas e incluso aquellas que involucran el contacto directo con ellas.

Recomendaciones

Hacer estudios de seguimientos anuales, tanto en épocas de sequías y lluvia de las aguas de la cuenca del río Aro, para determinar su calidad, ya que estas son usadas por los pobladores de la región para su consumo y uso agrícola sin ningún tipo de tratamiento.

El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Hidrobolívar, y el Centro de Geociencias de la Universidad de Oriente, deberían promover proyectos y estudios de las aguas del río Aro, continuos, para realizar los análisis físicos, químicos, bacteriológicos y cálculo del Índice de Calidad tanto en época de sequía, como en época de lluvia, para generar proyectos geológico-ambientales, que contribuyan con la educación del ciudadano usuario de los ríos, la preservación de los mismos y para proyectar procesos ambientales sustentables por lo que se contaría con un nuevo tipo de información; tratando de precisar la información geológica de superficie y geomorfológica.

Generar procesos para la cogestión institucional y comunitaria basados en la incorporación y participación de las comunidades adyacentes al río aro, en la formulación de proyectos orientados a fomentar el desarrollo programas de educación ambiental que les permita dar el uso adecuado a este espacio natural.

Sensibilizar a los miembros de las comunidades adyacentes y/o usuarias del río Aro a través de campañas especiales y permanentes para la recolección adecuada de desechos sólidos en las áreas afectadas.

Propiciar la creación de voceros comunales encargados de liderizar la preservación de los recursos naturales renovables en las zonas aledañas al río Aro, bajo la premisa de la aplicación de las normativas legales vigente, por parte de los entes gubernamentales al que violente esta normativa.

Se le recomienda a la Universidad de Oriente estimular y orientar a los entes gubernamentales para la creación de estaciones que permitan hacer monitoreos de la calidad de las aguas, para que así, se puedan tomar medidas de control pertinentes para la preservación del medio ambiente.

Instar a los entes gubernamentales, tales como las Alcaldías y Gobernaciones en conjunto con el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, a la elaboración de programas de carácter informativo que busquen orientar a las comunidades del sector sobre la importancia de mantener un balance hidrológico del área.

Planificar un modelo de urbanismo para los caseríos rurales por parte de las juntas comunales, conjuntamente con la Alcaldía, en el sector y en sus proximidades, con la finalidad de darle un mejor uso y aprovechamiento y productividad del suelo y evitar la contaminación de las aguas del río Aro.

REFERENCIAS

Abud, Jorge y Víctor Mora (2.003). **CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DEL RÍO SAN RAFAEL EN LA ÉPOCA DE SEQUÍA Y LLUVIA (2.000-2.002). (CIUDAD BOLÍVAR-ESTADO BOLÍVAR)**, trabajo de ascenso inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra y Cs. de la Salud, pp. 23-56.

Ascanio T., G. (1975). **EL COMPLEJO DE IMATACA EN LOS ALREDEDORES DEL CERRO BOLÍVAR**. Estado Bolívar, Venezuela. X Congreso Geológico Interguayanas, Brasil Mendoza V, (1977) tomado del II Congreso Geológico Venezolano. Tomo II, pp. 305-307.

Acuña, Mercedes, P. Cumarín y J. Carpio (1.999), **INFORME DE GIRA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**, trabajo inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra, Dpto. de Geol., Cátedra de Geología Estructural, pp. 6-18.

Aguirre P., Carolina L. e Yraida E. Palmer A. (1.992), **DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS DE LOS RÍOS SAN RAFAEL, BUENA VISTA, CAÑAFÍSTOLA, OROCOPICHE Y MARHUANTA**, trabajo de grado inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Geología y Minas, pp. 17-69.

Bolinaga, Juan. (1979). **DRENAJE URBANO**. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela, pp. 17-38.

Blanco Lagardere, Luzmila (1991), **EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS, GEOHIDROLÓGICAS Y AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑAFÍSTOLA**, trabajo de grado inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra, pp. 18-74.

Calzadilla Ninoska y Flores Neida (2.004). Trabajo final de grado. **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO MANACAL, MUNICIPIO HERES DEL ESTADO BOLÍVAR.** Ciudad Bolívar pp. 159.

Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. (1.991), **INFORME DE AVANCE NC-20-14 Y NB-20-2, TOMO I: CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, VEGETACIÓN,** Ciudad Bolívar: Gcia. Proy. Esp., Proy. Inv. Rec. Nat. de la Región Guayana, pp. 1-73.

Dana, J. (1989). **MANUAL DE MINERALOGÍA.** Barcelona España, Pp. 369.

Decreto Ejecutivo N^a 883. del 11 Oct./1995. Gaceta Oficial N^o 5021. Extraordinario del 18/Dic/1995. **“NORMAS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O EFLUENTES LÍQUIDOS.”**

Departamento de Geología de la Universidad de Oriente (2.001), **GUÍA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO,** inédito, Ciudad Bolívar.

Departamento de Geología de la Universidad de Oriente (2.000), **GUÍA DE REDONDEZ Y ESFERICIDAD DE LAS PARTÍCULAS,** inédito, Ciudad Bolívar.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela (lunes 18 de diciembre de 1.995), año CXXIII, mes III, Caracas: Extraordinaria N^o 5.021, Decreto 883.

Gaceta Oficial Estado Bolívar (junio, 26 de 1.986), **LEY DE DIVISIÓN POLÍTICO TERRITORIAL DEL ESTADO BOLÍVAR.**

García, Oscar (1.981). **AMBIENTES SEDIMENTARIOS DE LA FORMACIÓN MESA: LOCALIDADES DE CIUDAD BOLÍVAR Y DTTO. INDEPENDENCIA DEL EDO. ANZOÁTEGUI**, Ciudad Bolívar, trabajo de grado inédito, reválida título Universidad de Oriente, Escuela de Geología y Minas, pp. 5-52.

González de Juana, Clemente, J.M. Iturralde de Arozena y X. Picard Cadillat (1.980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**, tomo I y II, ed. facsimilar 1.993, Caracas: Ed. Foninves.

Herrera, José y Rosa A. León Z. (1.997). **CARACTERIZACIÓN DEL ESCUDO DE GUAYANA: PROVINCIA DE IMATACA (INFORME GIRA DE PETROLOGÍA)**, trabajo inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra, Dpto. de Geol., Cátedra de Petrología, pp. 1-26.

Herrera, José (1.998). **REDONDEZ Y ESFERICIDAD DE LAS PARTÍCULAS**, trabajo inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra, Dpto. de Geol., Lab. de Sed., pp. 1-14.

Holmes, Arthur (1.971). **GEOLOGÍA FÍSICA**. Ediciones OMEGA S.A. Barcelona, pp 306.

Istac, Alan (2.002). **ENCICLOPEDIA ESENCIAL LAROUSSE**. Barcelona España pp.556.

Jiménez, Juan. (1988). **ESTUDIO SOBRE LA CONTAMINACIÓN DE LOS CURSOS DE LAS AGUAS EN LOS EJIDOS MUNICIPALES DE CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**. Tesis de Grado. UDO. Núcleo Bolívar. Escuela de Geología y Minas. pp. 13-20.

Kalliokoski, J.(1965). **GEOLOGÍA DE LA PARTE NORTE-CENTRAL DEL ESCUDO DE GUAYANA, VENEZUELA.** Boletín de. Geología. Caracas. 7(13): pp. 29-104.

Katsamatsas, Christian y Saavedra, Susana. (2000). **EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO PROPIEDAD DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES UBICADO EN MARHUANTA.** Tesis de Grado, Ciudad Bolívar, pp.18-29.

Krumblein, W y Sloss, L. (1963). **ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTACIÓN.** Segunda edición. San Francisco pp. 660.

López Miriam (2002). **SITUACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AGUAS DE CIUDAD BOLÍVAR.** Unidad Ambiental Gerencia DTAOT. pp. 67.

Mendoza S., Vicente (2000), **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAMERICANO),** Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra y Minera Hecla Venezuela, C.A., pp. 34-48.

Menéndez, V. A. (1968). **REVISIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA DE LA PROVINCIA PASTORA SEGÚN EL ESTUDIO DE LA REGIÓN GUASIPATI, GUAYANA, VENEZUELA.** Boletín de geología, Caracas, 8 (15). Pp. 116 - 139.

Microsoft Corporation (1993-2003). **BIBLIOTECA DE CONSULTA MICROSOFT® ENCARTA® 2004©.**

Monsalve, Vicente (1999). **CURSO BÁSICO DE HIDROLOGIA,** trabajo inédito, Ciudad bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra, pp. 20-25.

Morales, María (2002). **GUÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL SOBRE AGUAS RESIDUALES**. Ciudad Bolívar pp. 15.

PDVSA-Intevep (1999-2001). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**, versión electrónica en CD.

Pettijohn, F. J. (1963). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Buenos Aires, Argentina. Segunda Edición, 1957. Traducido por Dr. Juan Turner. Pp.37-40,58-64.

Ramírez, Henry. (2006). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA – AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CURIAPO EN ÉPOCA DE SEQUÍA DEL MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES DEL ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente. Escuela Ciencias de la Tierra. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Geólogo. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 108-110.

República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (2.003), **DECRETOS DE AGUA: REVISIÓN DEL DECRETO 883 (30-06-03)**, http://www.marnr.gov.ve/Leyes/D_Agua.htm.

Romero, Grineida y Machado, Patricia (2008). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA–AMBIENTAL DEL RÍO ARO EN ÉPOCA DE LLUVIA, MUNICIPIOS HERES-SUCRE, ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente. Escuela Ciencias de la Tierra. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Geólogo. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 1-140.

Stralher, Arthur N. (1.992). **GEOGRAFÍA FÍSICA**. Editorial Omega, 3ra Edición. Barcelona España, pp 354.

The National Sanitation Foundation-NSF International (2.003), **WATER QUALITY INDEX**, 19 octubre de 2.003, <http://www.nsfconsumer.org/environment/wqi.asp>.

Vera, Nelson. (1974). **ESTUDIO DE LOS ALUVIONES DEL ÁREA ENTRE LOS RÍOS MARHUANTA Y OROCOPICHE**. Universidad de Oriente. Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 7-11.

Whitten, D y Brooks JR. (1972). **DICCIONARIO DE GEOLOGÍA**. Alianza Editorial, Madrid. Pp. 343.

Yanez De Carrasco, Hipatia G. (1.981), **ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO EN CIUDAD BOLÍVAR**, Trabajo de grado inédito, Ciudad Bolívar: Univ. de Oriente, Esc. de Geología y Minas, pp. 4-37.

APÉNDICES

APÉNDICE A**TABLAS COMPLEMENTARIAS DE LOS CAPÍTULOS III Y IV**

APÉNDICE A.1

**TABLAS DESDE LA 3.6 HASTA LA 3.15 (CAPÍTULO III).
DECRETO EJECUTIVO NO. 883 Y DE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE
ELEMENTOS EN EL AGUA (GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE
VENEZUELA, 18 DE DICIEMBRE DE 1.995; REPÚBLICA BOLIVARIANA
DE VENEZUELA-MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS
NATURALES, 2.003).**

Tabla 3.6 Clasificación de las aguas según Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1995).

Tipo		Subtipo	
1	Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.	1a	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con solo adición de desinfectantes.
		1b	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
		1c	Aguas que pueden ser acondicionadas por procesos de potabilización no convencional.
2	Aguas destinada a usos agropecuarios.	2a	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
		2b	Aguas para riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.
3	Agua marinas o de medios costeros destinados a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.		
4	Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercio y de subsistencia.	4a	Aguas para el contacto humano total.
		4b	Aguas para el contacto potencial
5	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.		
6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.		
7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.		

Tabla 3.7 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 1 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos		
	1a	1b	1c
Oxígeno disuelto (OD)	> 4 mg/L	> 4 mg/L	-
pH	6,0-8,5	6,0-8,5	3,8-10,5
Color real	< 50 U Pt-Co	< 150 U Pt-Co	-
Turbidez	< 25 UNT	< 250 UNT	-
Elementos o Compuestos			
Aceites minerales	0,3 mg/L		-
Aluminio	0,2 mg/L		-
Arsénico total	0,01-0,05 mg/L		-
Bario total	0,7-1,0 mg/L		-
Boro	0,3 mg/L		-
Cadmio total	0,003-0,01 mg/L		-
Cianuro total	0,07-0,1 mg/L		-
Cloruros	300-600 mg/L		-
Cobre total	1,0-2,0 mg/L		-
Cromo total	0,05 mg/L		-
Detergentes	1,0 mg/L		-
Dispersantes	1,0 mg/L		-
Dureza (CaCO ₃)	500 mg/L		-
Extracto de carbono al clorofomo	0,15 mg/L		-
Fenoles	0,002 mg/L		-
Fluoruros	< 1,7 mg/L		-
Hidrocarburos	2,0 mg/L		-
Hierro total	1,0 mg/L		-
Manganeso total	0,1 mg/L		-
Mercurio total	0,001-0,01 mg/L		-
Molibdeno	0,07 mg/L		-
Níquel	0,02 mg/L		-
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/L		-
Plata total	0,05 mg/L		-
Plomo total	0,01-0,05 mg/L		-
Selenio	0,01 mg/L		-
Sodio	200 mg/L		-
Sólidos disueltos totales	1.500 mg/L		-
Sulfatos	400-500 mg/L		-
Zinc	5,0 mg/L		-
Biocidas			
Organoclorados	0,02-0,2 mg/L		-
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L		-
Organismos			
Coliformes totales (*)	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales (promedio mensual) < 2.000 NMP/100 ml de agua.	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales (promedio mensual) < 10.000 NMP/100 ml de agua.	-
Radiactividad			
Actividad α	0,1 Bq/l		-
Actividad β	1,0 Bq/l		-
(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).			

Tabla 3.8 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 2 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos	
	2a	2b
Conductividad específica	2.000 (μS/cm)	
Elementos o Compuestos		
Aluminio	1,0 mg/L	
Arsénico total	0,05 mg/L	
Bario total	1,0 mg/L	
Bicarbonatos	370 mg/L	
Boro	0,75-1,0 mg/L	
Cadmio total	0,005 mg/L	
Calcio	200 mg/L	
Carbonatos	5 mg/L	
Cianuro total	0,2 mg/L	
Cloruros	250 mg/L	
Cobre total	0,2 mg/L	
Cromo total	0,05 mg/L	
Hidrocarburos	2,0 mg/L	
Hierro total	1,0-5,0 mg/L	
Litio	2,5-5,0 mg/L	
Magnesio	70 mg/L	
Manganeso total	0,2-0,5 mg/L	
Mercurio total	0,01 mg/L	
Molibdeno	0,005-0,01 mg/L	
Níquel	0,2-0,5 mg/L	
Plata total	0,05 mg/L	
Plomo total	0,05-0,2 mg/L	
Potasio	20 mg/L	
Selenio	0,01-0,02 mg/L	
Sodio	140 mg/L	
Sólidos disueltos totales	1.300-3.000 mg/L	
Sólidos flotantes	Ausentes	
Sulfatos	340 mg/L	
Vanadio	0,1-10 mg/L	
Zinc	5,0 mg/L	
Biocidas		
Organoclorados	0,2 mg/L	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L	
Organismos		
Coliformes totales	Promedio mensual < 1.000 NMP/100 ml de agua.	Promedio mensual < 5.000 NMP/100 ml de agua.
Coliformes fecales	Promedio mensual < 100 NMP/100 ml de agua.	Promedio mensual < 1.000 NMP/100 ml de agua.
Radiactividad		
Actividad α	0,1 Bq/L	
Actividad β	1,0 Bq/L	
(*) Estos organismos podrán expresarse indistintamente como NMP o UFC.		

Tabla 3.9 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 3 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos
Oxígeno disuelto (OD)	> 5,0 mg/L (o al 60% del valor de saturación)
pH	6,5-8,5
Elementos o Compuestos	
Aceites minerales	0,3 mg/L
Detergente biodegradables	< 0,2 mg/L
Detergentes no biodegradables	< 1 mg/L
Fenoles y sus derivados	0,002-0,003 mg/L
Hidrocarburos	0,3 mg/l
Metales y otras sustancias tóxicas	No detectable por los métodos estándares.
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	Ausentes
Biocidas	
Organoclorados	0,2 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organismos	
Coliformes totales (*)	La media geométrica de al menos 5 muestras mensuales será < 70 organismos/100 ml de agua (el 10% de las muestras puede exceder de 200 NMP/100 ml de agua).
Enterococos fecales (**)	La media geométrica de al menos 5 muestras mensuales será inferior a 25 organismos/100 ml
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l
Actividad β	1,0 Bq/l
(*) Estos organismos podrán expresarse indistintamente como NMP o UFC.	
(**) Aplica sólo a aguas de medios marino-costeros.	

Tabla 3.10 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 4 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos	
	4a	4b
Oxígeno disuelto (OD)	> 5,0 mg/L (o al 60% del valor de saturación)	
pH	6,5-8,5	
Transparencia	> 1,0 m de profundidad Secchi	
Elementos o Compuestos		
Aceites minerales	0,3 mg/L	
Aceites y grasas	No podrá ser detectada su presencia como película visible o por efecto del olor	
Detergentes	< 1,0 mg/L	
Fenoles y sus derivados	0,002-0,3 mg/L	
Metales y otras sustancias tóxicas	No detectable	
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	Ausentes	
Sólidos disueltos totales	Desviación menor al 33% de la condición natural	
Biocidas		
Organoclorados	0,2 mg/L	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L	
Organismos		
Coliformes totales	< 1.000 NMP/100 ml de agua en el 90% de una serie de muestras consecutivas (menor a 5.000 NMP en el 10% restante).	< 5.000 NMP/100 ml de agua en el 80% de una serie de muestras consecutivas (menor a 10.000 NMP en el 20% restante).
Coliformes fecales (*)	La media geométrica de al menos 5 muestras mensuales será < 200 NMP/100 ml de agua en el 90% de una serie de muestras consecutivas (menor a 400 NMP en el 10% restante).	< 1.000 NMP/100 ml de agua en la totalidad de las muestras.
Enterococos fecales (**)	La media geométrica de al menos 5 muestras mensuales será < 35 organismos/100 ml de agua.	
Moluscos infectados con <i>S. mansoni</i>	Ausentes	Ausentes
Radiactividad		
Actividad α	0,1 Bq/L	
Actividad β	1,0 Bq/L	
(*) Estos organismos podrán expresarse indistintamente como NMP o UFC.		
(**) Aplica sólo a aguas de medios marino-costeros.		

Tabla 3.11 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 5 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos
Aceites y espumas	Ausente
Fenoles	< 0,002 mg/L
Sustancias que originen sedimentación de sólidos y formación de lodos	Ausente

Tabla 3.12 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 6 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos
Oxígeno disuelto (OD)	> 4 mg/L
Sólidos flotantes y sedimentables o depósitos de lodo	Concentraciones que no interfieran la navegación o la generación de energía

Tabla 3.13 Límites permisibles de elementos en el agua para las aguas tipo 7 según el Decreto Ejecutivo N° 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1.995; República Bolivariana de Venezuela-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2.003).

Parámetro	Límites o rangos máximos
Oxígeno disuelto (OD)	> 3 mg/L

Tabla 3.14 Normas de calidad física (criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud OMS, 1.971 citados por Abud J. y Mora, V. 2.003).

Características	Nivel deseable más alto	Nivel permisible máximo
Color	5 Unidades	50 Unidades*
Olor	Inobjetable	Inobjetable
Sabor	Inobjetable	Inobjetable
Turbidez	5 Unidades	25 Unidades**
(*) Escala platino-cobalto.		
(**) Unidades de turbidez (UNT).		

Tabla 3.15 Normas de calidad química de las aguas (criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud OMS, 1.971 citados por Abud, J. y Mora, V. 2.003).

Características	Nivel deseable más alto	Nivel permisible máximo
Sólidos disueltos totales	500 mg/L	1.500 mg/L
Rango de pH	7,0 a 8,5	6,5 a 9,2
Aceites minerales	0,01 mg/L	0,3 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	100 mg/L	500 mg/L
Cromo (Cr)	-	0,05 mg/L
Plomo (Pb)	-	0,05 mg/L

APÉNDICE A.2

TABLAS 4.1, 4.2 Y 4.3 (CAPÍTULO IV) QUE MUESTRAN UN RESUMEN DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO ARO (MODIFICADA DE ABUD J. Y MORA, V. 2003).

Tabla 4.1 Resumen de los parámetros físicos y metodologías empleadas para el análisis de las muestras de agua del río Aro (Modificada de Abud J. y Mora, V. 2.003).

Parámetro	Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis físicos	<i>Temperatura</i> (°C)	Instrumental (Lectura directa)	-	- Termómetro Marca Hack, Modelo 100/740.	Aguas minerales, tratadas, residuales, domésticas e industriales.	No se requiere	-
	<i>pH</i>	Instrumental (medición directa in situ)	-	- pHmetro Marca Hack, Modelo 100/740.	-	-	-
	<i>Turbidez</i>	Instrumental (Nefelométrico)	0-100 unidades nefelométricas	- Turbidímetro de Jackson. - Fuente de luz. - Tubos de muestras de vidrio claro y sin color.	Aguas naturales, tratadas, residuales, domésticas e industriales.	- Agua exenta de turbiedad. - Sulfato de hidracina.	Analizar la muestra en menos de 19 horas. No almacenar las muestras durante bajos períodos. Conservar en lo oscuro y agitar rigurosamente antes de analizar.
	<i>Color</i>	Platino-cobalto	La estimación dependerá del rango del color	-	- Tubo Nessler de 50 ml. forma alta. - Medidas de pH.	Aguas potables naturales	- Cloro platinato de potasio. - Cloruro de cobaltazo. - Ácido clorhídrico.

Tabla 4.1 Continuación.

Parámetro		Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis físicos	<i>Olor</i>	Olor umbral	1-100 en términos de número de olor umbral	-	<ul style="list-style-type: none"> - Matrices de olor con tapas de vidrio de 500 ml. - Pipetas volumétricas o cilíndricas graduadas de 200, 100, 50, 25 ml. - Generador de agua exenta de olor. - Tubo de vidrio (borosilicato) de 3 y 18 pulgadas de diámetro. - Empaque de asbesto para tubos de vidrio. - Material de vidriera. - Botella de muestras. - Baño de María. - Contrabridas (2) para tubo de vidrio. - Empacadura (2) de ¼ de pulgadas con orificio central de 3 pulgadas. 	Desde aguas naturales casi inodoras hasta aguas residuales industriales.	<ul style="list-style-type: none"> - Agua exenta de olor. - Carbón activado. 	-

Tabla 4.2 Resumen de los parámetros químicos y metodologías empleadas para el análisis de las muestras de agua del río Aro (Modificada de Abud J. y Mora, V. 2.003).

Parámetro	Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación	
Análisis químicos	<i>Oxígeno Disuelto (OD)</i>	Winkler-Titulación	± 50 µg/L	-	- Botellas para el muestreo y la incubación de 300 ml. - Pipetas con punta alargada.	Aguas naturales y residuales que no contengan nitrito de nitrógeno, ni hierro ferroso en altas concentraciones.	- Sulfato de manganeso. - Hidróxido de sodio. - Yoduro y nitrato de sodio anhidro. - Ácido sulfúrico. - Almidón soluble. - Cloroformo. - Fluoruro de potasio 2H ₂ O. - Tiosulfato de sodio 5H ₂ O. - Biyodato y yoduro de potasio. - Ácido sulfúrico 10%. - Óxido de fenilarsina (PAO).	No permitir contacto de la muestra con aire, ni ser agitada. Usar una botella de Winkler de incubación de 300 ml. Captar en profundidad <1,5 ml. Para preservar agregar 2 ml. de sulfato manganeso y luego 2 ml. de yoduro-azida, o agregar 0,7 ml. de ácido sulfúrico concentrado. Para ambos casos almacenar de 10-20° C en lo oscuro.
	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	Incubación	0,05 mg/L	-	- Frascos de incubación de 250-300 ml. con tapa de asiento esmerilado. - Incubación seca.	Aguas naturales, desechos líquidos, domésticos e industriales.	- Fosfato de potasio monobásico. - Fosfato de potasio dibásico. - Fosfato de sodio dibásico 7H ₂ O. - Cloruro de amonio. - Sulfato de magnesio 7H ₂ O. - Cloruro de calcio. - Cloruro férrico 6H ₂ O. - Sulfito de sodio. - Inhibidor de nitrificación. - Glucosa. - Ácido glutámico.	Analizar prontamente la muestra, enfriándola a 4° C. si el análisis se va a realizar en las primeras 2 horas después de su captación, no se necesita enfriar. No analizar con más de 24 horas después de captada la muestra.

Tabla 4.2 Continuación.

Parámetro		Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis químicos	<i>Demanda Química de oxígeno (DQO)</i>	Ácido ascórbico	0,01-1,2 ml.	-	- Equipo colorimétrico. - Espectrofotómetro. - Fotómetro de filtro. - Baño de María.	Aguas naturales, potables, residuales domésticas e industriales.	- Molibdato de amonio. - Tartrato de potasio y antimonio. - Ácido ascórbico. - Acetona. - Ácido sulfúrico. - Bisulfito de sodio. - Persulfato de amonio. - Fosfato de potasio.	Usar embase de vidrio. Lavarlos sin usar detergentes comerciales. Preservar la muestra agregándole 4 mg. de cloruro de mercurio por cada litro de muestra y refrigerar a 4 ° C si no se analiza el mismo día. Si sólo se va a determinar fosfato total no preservar la muestra.
	<i>Alcalinidad</i>	Titulación	Hasta 1.000 mg/L	50 ml.	- Medidor de pH. - Agitador magnético. - Matraz Erlenmeyers. - Fiolas volumétricas de 100, 200, 250 y 1.000 ml. - Buretas de vidrio (borosilicato) de 10, 25 y 100 ml. - Frascos de poliolefinas.	Aguas naturales y potables, desechos domésticos e industriales y salinas.	- Carbonato de sodio. - Ácido sulfúrico. Verde de bromocresol. - Rojo de metilo. - Anaranjado de metilo. - Fenolftaleína. - Tiosulfato de sodio. - Alcohol etílico 95%.	Usar botella de polietileno o vidrio (borosilicato). Almacenar muestras a 4 ° C. evitar exponer muestras al aire y la agitación. Procesar tan pronto como sea posible, antes de 24 horas. Llenar la botella completamente y tápela herméticamente.

Tabla 4.2 Continuación.

Parámetro		Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis químicos	<i>Dureza</i>	Titulación EDTA	4 mg/L	25 ml.	- Equipo para titulaciones.	Aguas potables, naturales y residuales.	- Ácido clorhídrico. - Hidróxido de sodio. - Cloruro de amonio. - EDTA, Sal magnésica. - Cianuro de sodio. - Sulfato de sodio 9H ₂ O. - Erio cromo negro T. - Trietanolamina. - Calmagita. - Carbonato de calcio. - Indicador rojo de metilo, Sal sódica.	Usar botellas.
	<i>Cloruros</i>	Nitrato mercúrico	El mínimo detectable es 25 µg de Cl	100 ml.	- Matraz Erlenmeyer de 250 ml. - Microburetas de 10 ml., con graduación de 0,2.	Aguas potables, naturales y salinas. Aguas industriales.	- Cloruro de sodio. - Ácido nítrico. - Hidróxido de sodio. - Alcohol etílico 95%. - Difenilcarbazona. - Xylene cyanole FF. - Nitrato mercúrico. - Agua.	Usar recipiente de vidrio o plástico resistentes a la acción química. No es necesario preservativo especial si la muestra va a ser almacenada.

Tabla 4.2 Continuación.

Parámetro		Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis químicos	<i>Hierro</i>	Fenantrolina	0,2-4,0 mg/L	-	- Equipo colorimétrico. - Espectrofotómetro. - Fotómetro de filtro. - Tubo Nessler de forma alta de 100 ml.	Aguas naturales, potables, residuales domésticas e industriales.	- Agua destilada exenta de hierro. - Ácido clorhídrico. - Cloruro de hidroxilamonio. - Acetato de armonio. - Ácido acético glacial. - Acetato de sodio 3H ₂ O. - 1-10-Fenantrolina H ₂ O. - Alambre de hierro electrolítico, metal patrón. - Sulfato de amonio ferroso 6H ₂ O. - Éter disopropílico. - Ácido sulfúrico. - Permanganato de sodio.	Use un recipiente de vidrio, lavar con ácido y enjuagar con agua destilada. para determinar hierro en solución, instalar un equipo de filtración por membrana en el sitio de captación. Trate la muestra en el momento de captación agregando un ácido.
	<i>Sulfatos</i>	Turbidimétrico	1 mg/L, aproximadamente	-	- Agitador magnético. - Fotómetro. - Turbidímetro nefelométrico. - Espectrofotómetro. - Fotómetro de filtro. - Cronómetro o reloj eléctrico. - Cucharilla de medición.	Aguas naturales, potables, residuales domésticas e industriales.	- Glicerina. - Ácido clorhídrico. - Alcohol isopropílico. - Cloruro de sodio. - Sulfato de sodio. - Cloruro de bario.	Almacenar las muestras a baja temperatura.

Tabla 4.2 Continuación.

Parámetro		Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis químicos	<i>Cromo</i>	Clorimétrico	Hasta 5 mg/L	-	- Equipo colorimétrico. - Espectrofotómetro. - Fotómetro de filtro. - Embudos. - Separadores de 125 ml. con válvula de vidrio o teflón y su tapa correspondiente.	Aguas potables, naturales y residuales.	- Agua bidestilada. - Dicromato de potasio. - Ácido nítrico. - Ácido sulfúrico. - Anaranjado de metilo. - Hidróxido de amonio. - Permanganato de potasio. - Azida de sodio. - Difenilcarbazida. - Cloroformo. - Cupferrón. - Acetona. - Ácido fosfórico.	Acidificar las muestras al captarlas, hasta un pH menor de 2. Utilice frascos que permitan visualizar la muestra. Filtre la muestra si se desea el contenido de cromo disuelto y turbiedad. No se recomienda un almacenamiento prolongado de la muestra, de ser posible se debe hacer en los primeros 2 días.
	<i>Fosfatos</i>	Reflujo al dicromato	5-50 mg/L	-	- Equipo de reflujo. - Matraz Erlenmeyer de 250-500 ml. con boca 24/40 y asiento para cierre esmerilado.	Aguas potables, naturales, industriales y residuales domésticas.	- Dicromato de potasio. - Sulfato de plata. - Ácido sulfúrico. - 4-1, 10-Fenatrolina monohidratada. - Sulfato ferroso 7H ₂ O. - Sulfato ferroso amoniacal 6H ₂ O. - Sulfato mercuríco. - Ácido sulfámico. - Biftalato de potasio.	Procesar las muestras inestables de inmediato. Homogenizar muestras que contienen sólidos sedimentables en un dispositivo mezclador a fin de obtener una muestra representativa. Acidificar la muestra con HCl, hasta un pH menor de 2, si se va a retardar el inicio del análisis.

Tabla 4.2 Continuación.

Parámetro	Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación	
Análisis químicos	<i>Potasio</i>	Fotómetro de llama	0,1 mg/L, Aproximadamente	-	- Fotómetro de llama. - Vidriería.	Aguas naturales, potables, residuales domésticas e industriales.	- Cloruro de potasio y de litio. - Agua destilada desionizada. - Ácido nítrico. - Peróxido de hidrógeno. - Ácido clorhídrico. - Hidróxido de amonio.	
	<i>Fluoruros</i>	Visual de la alizarina.	0,05-1,4 mg/L	-	- Matraz de ebullición de 1,1 con fondo esférico y cuello largo de vidrio (borosilicato). - Condensador. - Adaptador para termómetro. - Equipo comparador de color. - Tubos Nessler. - Comparador visual de espejo.	Agua naturales, desechos líquidos domésticos e industriales.	- Ácido sulfúrico. - Sulfato de plata en cristales. - Fluoruro de sodio. - Oxicloruro de zirconio 8H ₂ O. - Rojo de alizarina S. - Ácido clorhídrico. - Ácido sulfúrico. - Arsenito de sodio.	Usar recipientes de polietileno para captar y almacenar las muestras, que hayan sido utilizados para contener soluciones concentradas de fluoruros. Enjuague la botella con una porción de la muestra.
	<i>pH</i>	Potenciómetro	Depende del equipo	25 ml.	- Medidor de pH. - Electrodo de referencia. - Electrodo de vidrio. - Vasos de precipitado. - Agitador. - Cámara de flujo.	Aguas naturales, potables, residuales domésticas e industriales.	- Fosfato de potasio (hidrógeno). - Citrato de potasio (hidrógeno). - Fosfato disódico (hidrógeno). - Borato de sodio decahidratado. - Bicarbonato de sodio. - Carbonato de sodio.	Usar recipientes de plástico o de vidrio. No agregar preservativos a la muestra. Realizar el análisis preferiblemente después de captar la muestra de agua.

Tabla 4.3 Resumen de los parámetros bacteriológicos y metodologías empleadas para el análisis de las muestras de agua del río Aro (Modificada de Abud J. y Mora, V. 2.003).

Parámetro	Método	Límite de detección	Muestra representativa	Equipo	Aplicación	Reactivo	Procedimiento de captación
Análisis bacteriológicos	<i>Coliformes totales (NMP)</i>	Tubos múltiples.	-	-	-	-	-
	<i>Coliformes fecales (NMP)</i>	Tubos múltiples.	-	-	-	-	-

APÉNDICE B
CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA CADA ESTACIÓN

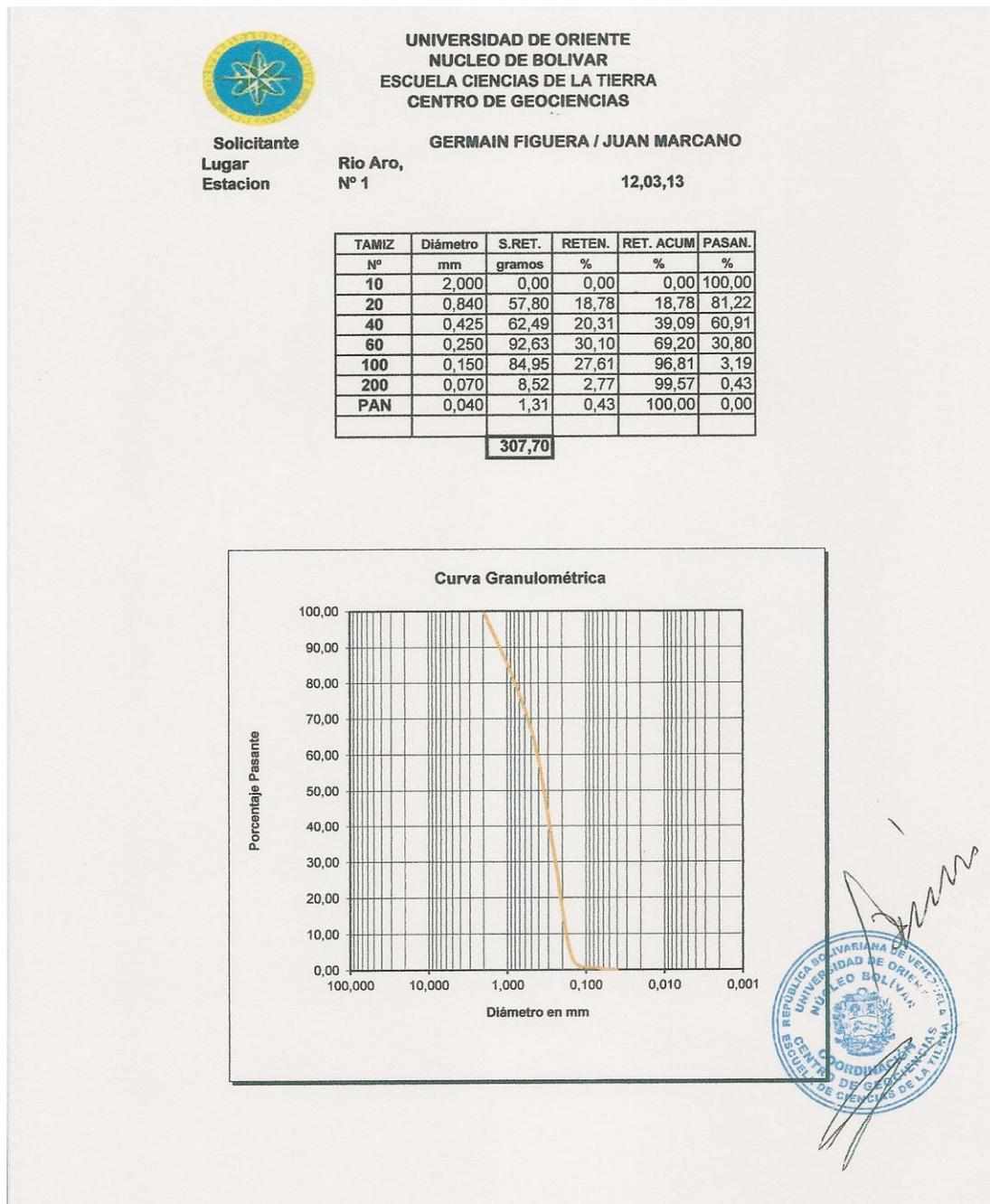


Figura B.1 Curva granulométrica de los sedimentos reciente provenientes del río Aro. (Estación 1, La Esperanza aguas arriba).

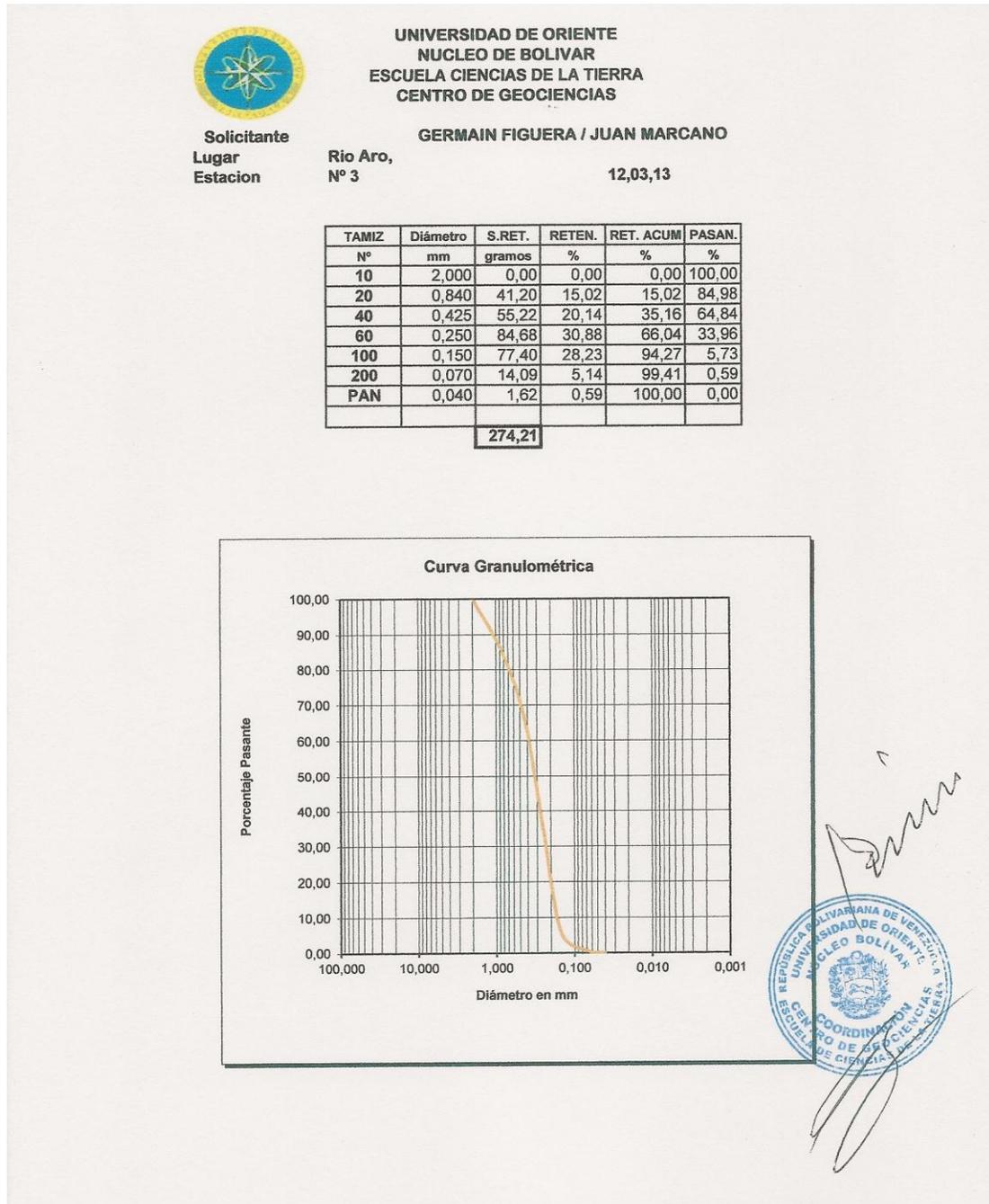


Figura B.3 Curva granulométrica de los sedimentos recientes provenientes del río Aro. (Estación 3, Santa María de Amoroso).

APÉNDICE C
HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA DE REDONDEZ DE LAS PARTÍCULAS
PARA CADA ESTACIÓN



Universidad de Oriente
Núcleo de Bolívar
Escuela de Ciencias de la Tierra
Laboratorio de Geociencias



RIO ARO

ESTACIÓN No. 1

FORMAS	NUMERO DE PARTÍCULAS	PORCENTAJE %
ANGULOSO	165,00	82,50
SUBANGULOSO	29,00	14,50
SUBREDONDEADO	4,00	2,00
REDONDEADO	2,00	1,00
BIEN REDONDEADO	0,00	0,00

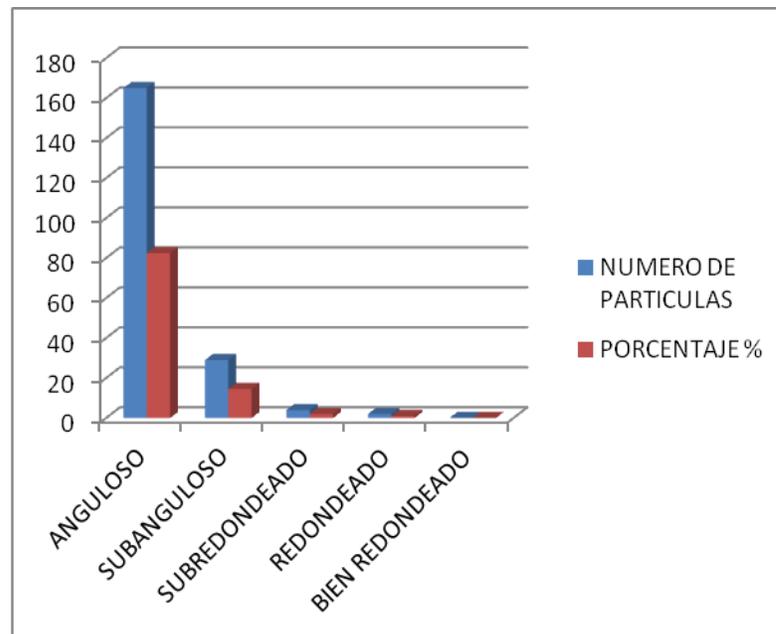


Figura C.1 Redondez de las Partículas en Estación 1.



Universidad de Oriente
Núcleo de Bolívar
Escuela de Ciencias de la Tierra
Laboratorio de Geociencias



RIO ARO

ESTACIÓN No. 2

FORMAS	NUMERO DE PARTÍCULAS	PORCENTAJE %
ANGULOSO	152,00	76,00
SUBANGULOSO	36,00	18,00
SUBREDONDEADO	7,00	3,50
REDONDEADO	5,00	2,50
BIEN REDONDEADO	0,00	0,00

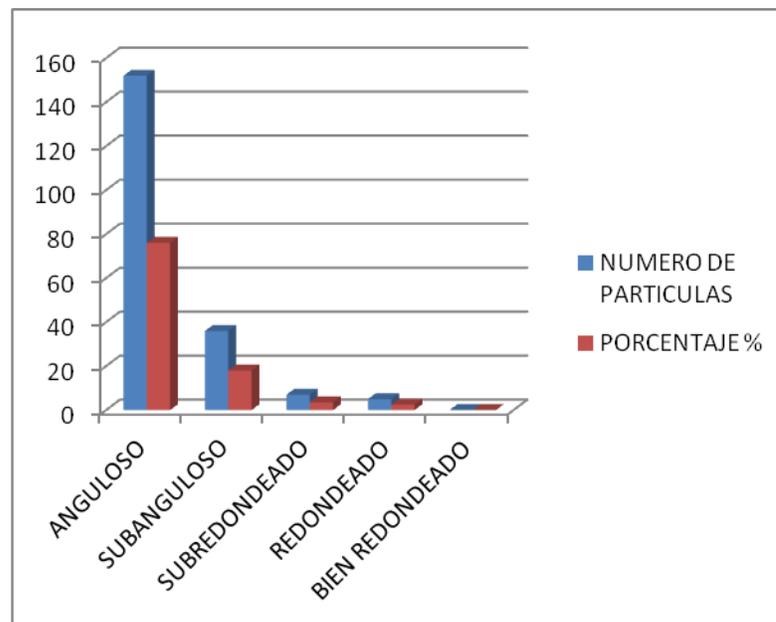


Figura C.2 Redondez de las Partículas en Estación 2.



Universidad de Oriente
Núcleo de Bolívar
Escuela de Ciencias de la Tierra
Laboratorio de Geociencias



RIO ARO

ESTACIÓN No. 3

FORMAS	NUMERO DE PARTÍCULAS	PORCENTAJE %
ANGULOSO	146,00	73,00
SUBANGULOSO	32,00	16,00
SUBREDONDEADO	14,00	7,00
REDONDEADO	8,00	4,00
BIEN REDONDEADO	0,00	0,00

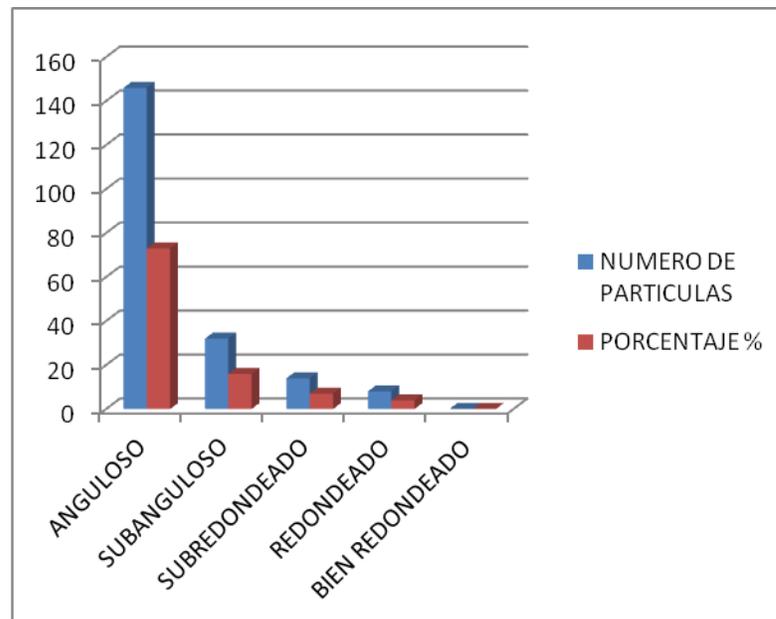


Figura C.3 redondez de las partículas en Estación 3.



Universidad de Oriente
Núcleo de Bolívar
Escuela de Ciencias de la Tierra
Laboratorio de Geociencias



RIO ARO

ESTACIÓN No. 4

FORMAS	NUMERO DE PARTÍCULAS	PORCENTAJE %
ANGULOSO	145,00	72,50
SUBANGULOSO	37,00	18,50
SUBREDONDEADO	12,00	6,00
REDONDEADO	6,00	3,00
BIEN REDONDEADO	0,00	0,00

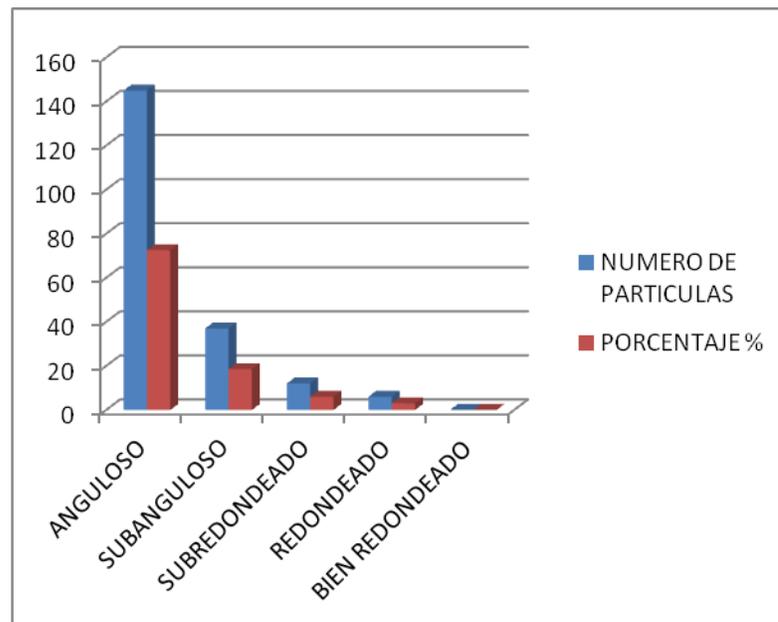


Figura C.4 Redondez de las partícula en Estación 4.

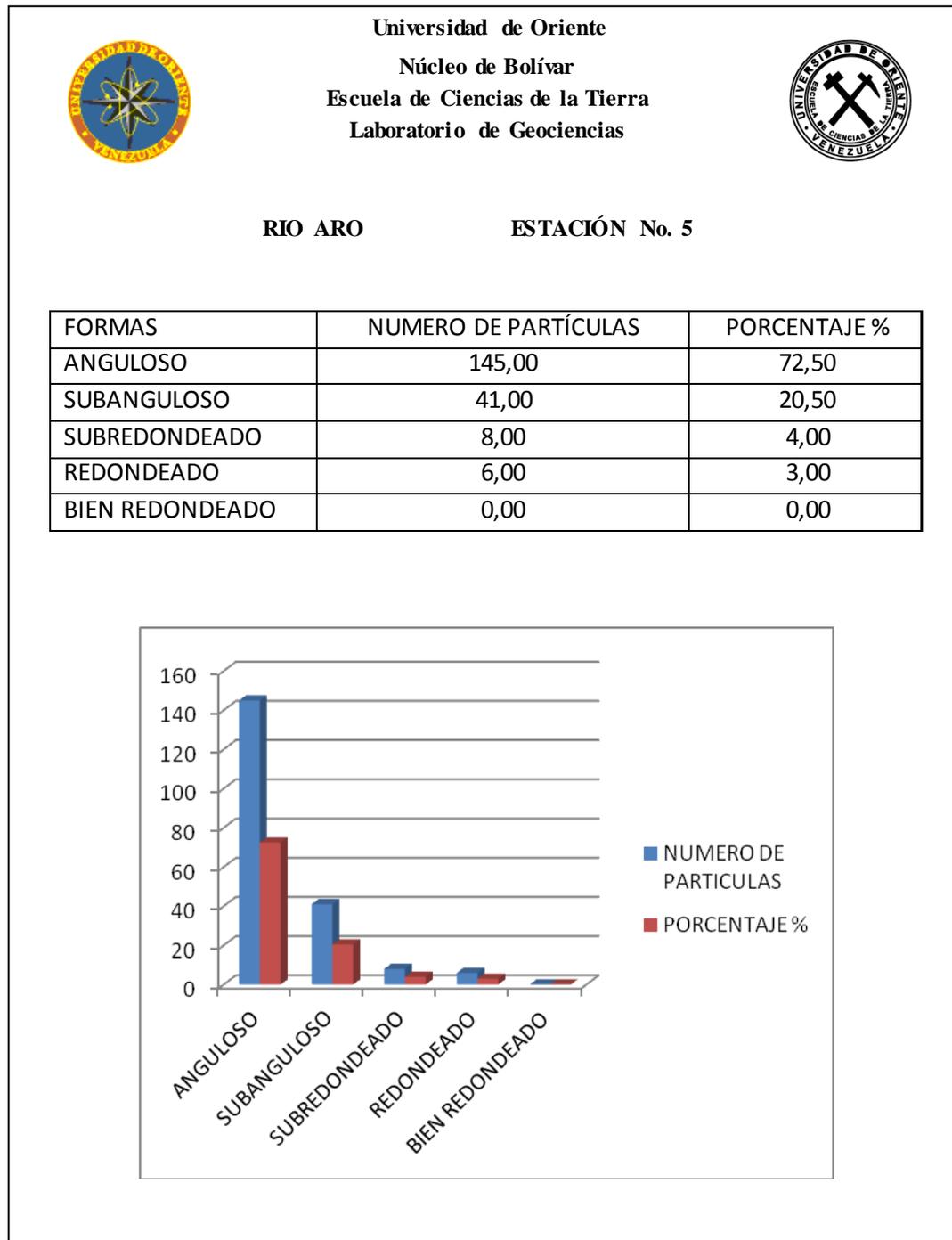


Figura C.5 Redondez de las partículas en Estación 5.

APÉNDICE D
GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA
(THE NATIONAL SANITATION FOUNDATION-NSF INTERNATIONAL

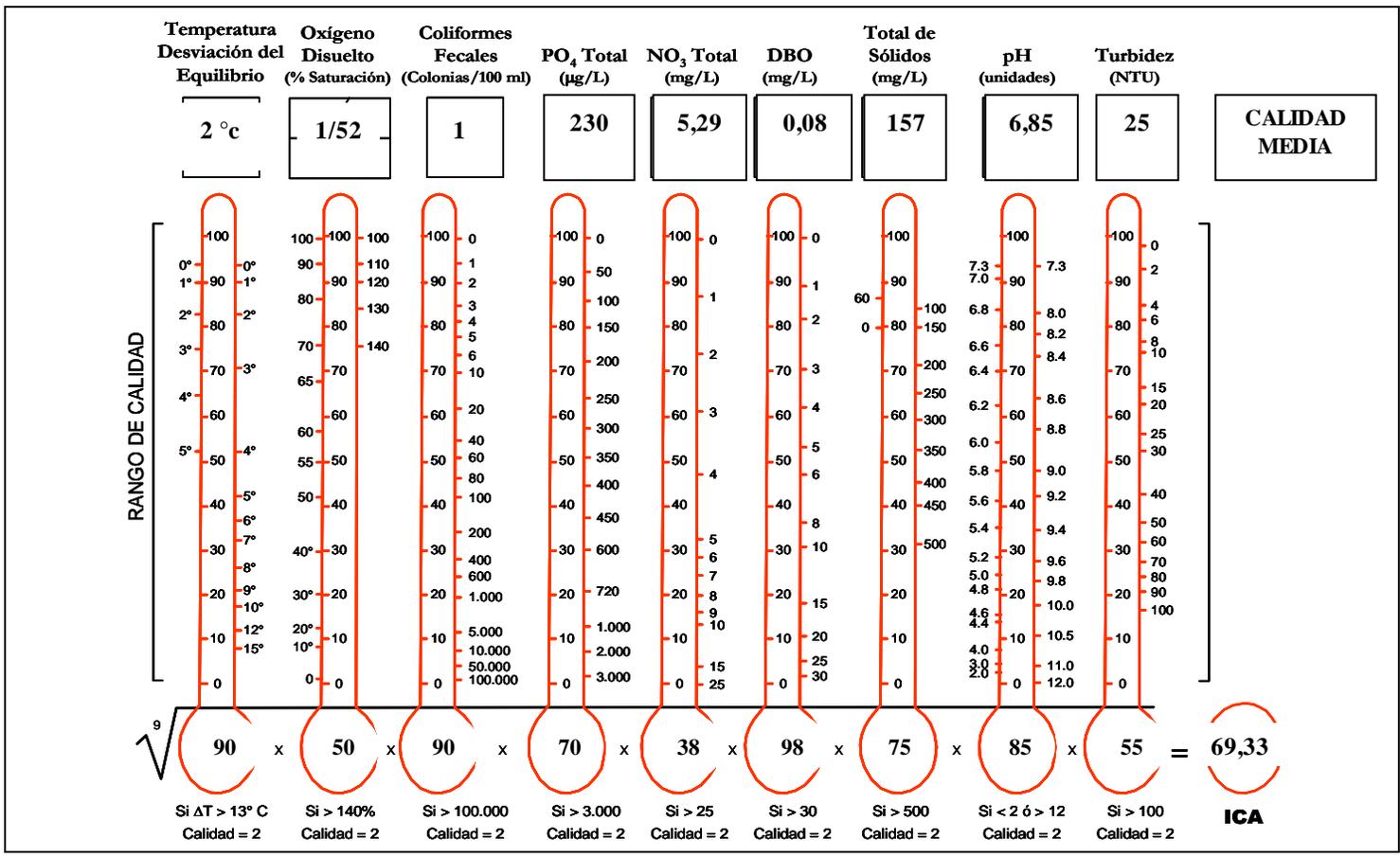


Figura D.1 Índice de Calidad del Agua obtenido para la Estación 1, tomada del río Aro, año 2013.

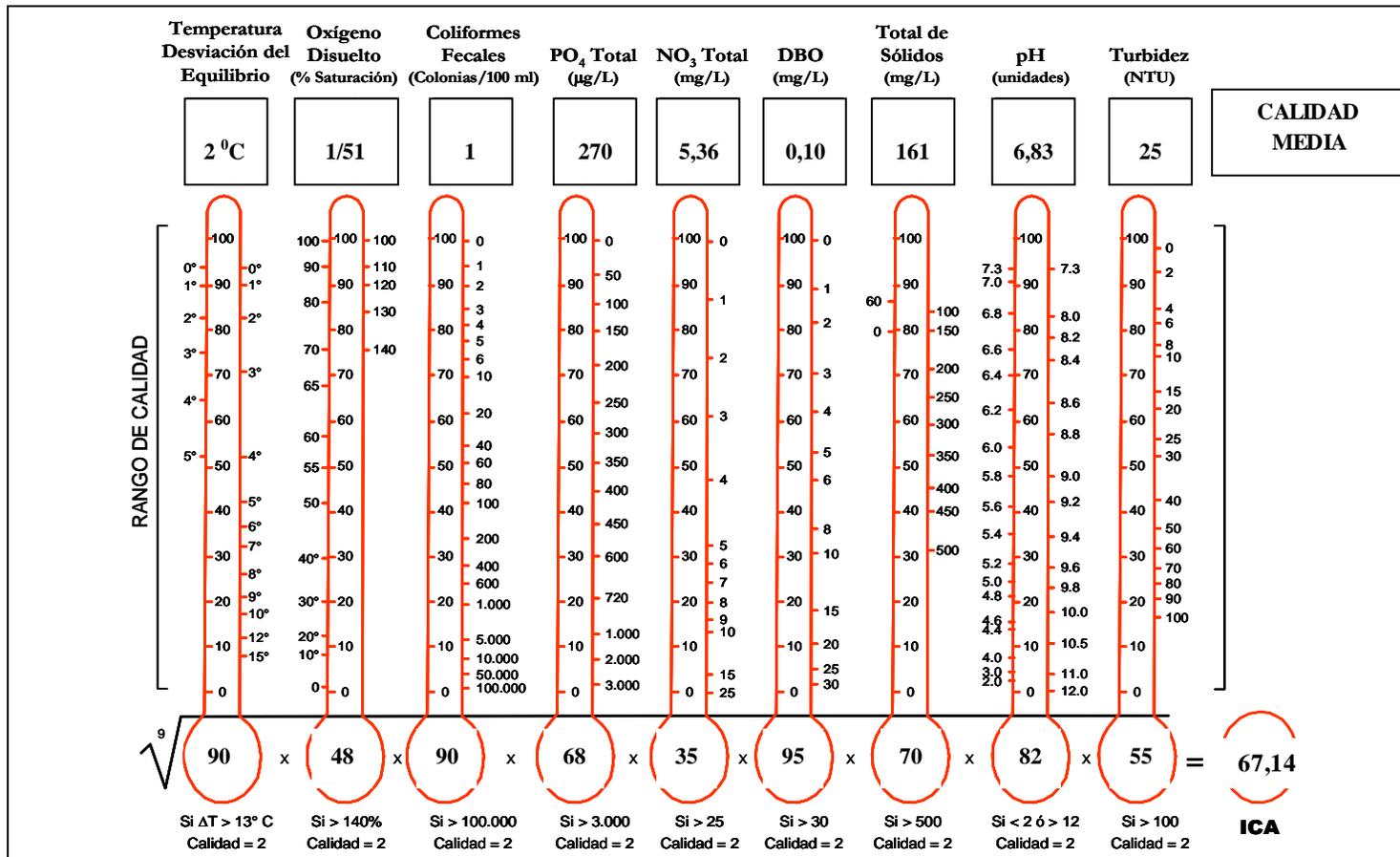


Figura D.2 Índice de Calidad del Agua obtenido para la Estación 2, tomada del río Aro, 2013.

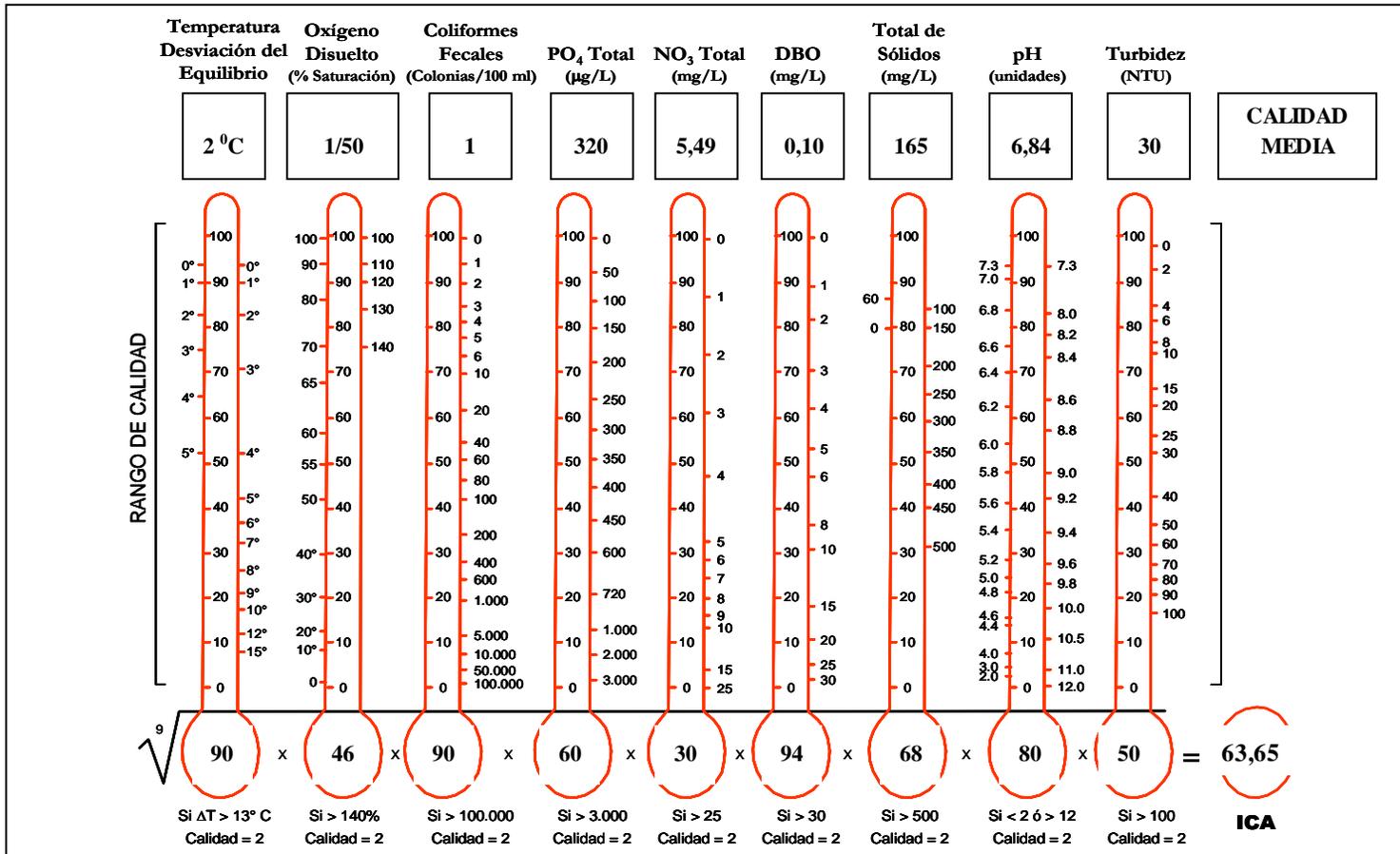


Figura D.3 Índice de Calidad del Agua obtenido para la Estación 3, tomada del río Aro, año 2013.

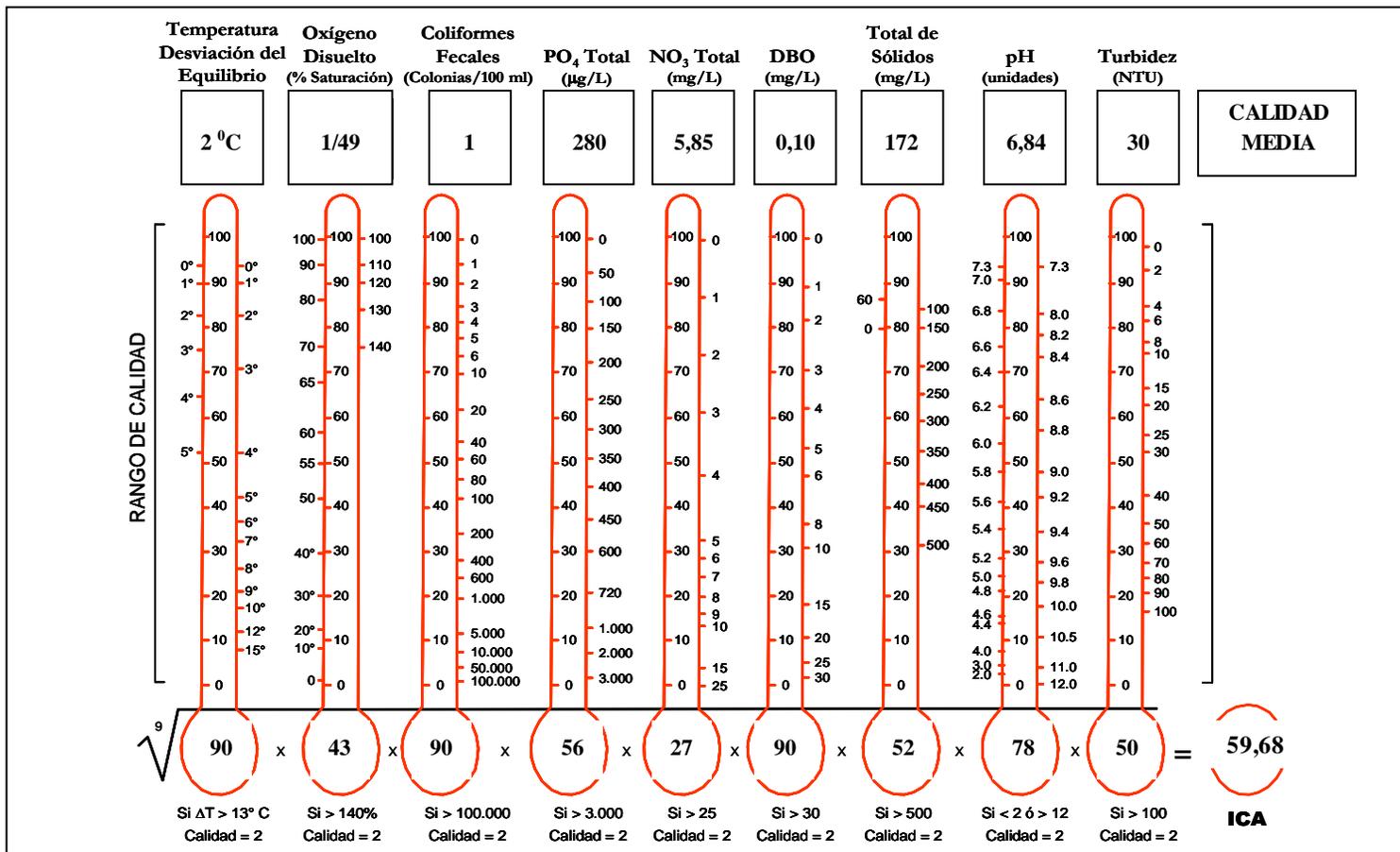


Figura D.4 Índice de Calidad del Agua obtenido para la Estación 4, tomada del río Aro, año 2013.

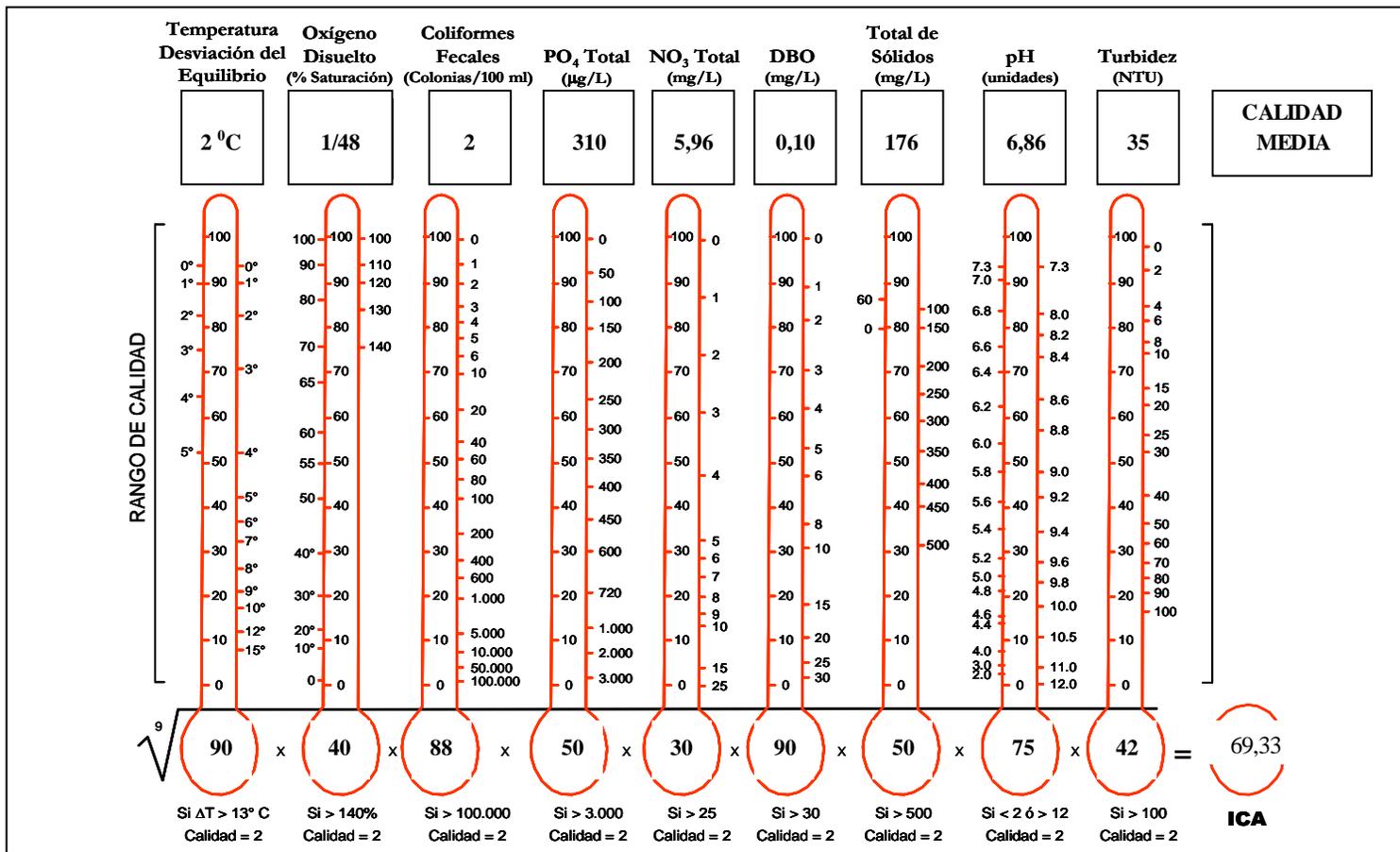


Figura D.5 Índice de Calidad del Agua obtenido para la Estación 5, tomada del río Aro, año 2013.

APENDICE E

**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS EN EL CENTRO DE
GEOCIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE A LAS MUESTRAS
DE AGUAS RECOLECTAS EN LOS POZOS Y SEDIMENTOS.**

E.1 Análisis Físicos, Químicos, Bacteriológicos e Índice de Calidad de las Aguas en los pozos (ICA).



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
 NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA

CENTRO DE GEOCIENCIAS

Solicitante: JUAN DE JESUS, MARCANO / GERMAIN DE JESUS, FIGUERA

Lugar: Rio Aro, Sector Peramanal, Municipio Sucre Estado Bolívar

Fecha: 23 / Mayo / 2013

ANALISIS FISICO DE AGUA

Estaciones	Temp. Agua	Temp. Ambiente	Turbidez
01	26	28	25
02	26	28	25
03	26	28	30
04	28	30	30
05	28	30	35
Unidades	-C	-C	U.T.N


Técnico Isidro Farias
 Analista



Continuación de E.1



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

Solicitante: JUAN DE JESUS, MARCANO / GERMAIN DE JESUS, FIGUERA

Lugar: Rio Aro, Sector Peramanal, Municipio Sucre Estado Bolívar

Fecha: 23 / Mayo / 20113

ANALISIS QUIMICO DE AGUA

Parámetros	Estación 01	Estación 02	Estación 03	Unidades
P H	6.85	6.83	6.84	-----
Alcalinidad total	14	16	15	mg/l
Dureza total	23	24	22	mg/l
Sólidos totales	157	161	165	mg/l
O.D	4.39	4.35	4.25	mg/l
D.B.O ₅₋₂₀	0.08	0.10	0.11	mg/l
Nitratos	5.29	5.36	5.49	mg/l
Fosfatos	0.23	0.27	0.32	mg/l
Calcio	6.45	6.62	6.53	mg/l
Magnesio	1.48	1.42	1.51	mg/l
Hierro	0.13	0.12	0.13	mg/l
Manganeso	0.01	0.01	0.01	mg/l
Cloruros	27	29	24	mg/l


Técnico Isidro Farias
 Analista



Continuación de E.1



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

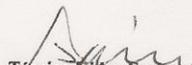
Solicitante: JUAN DE JESUS, MARCANO / GERMAIN DE JESUS, FIGUERA

Lugar: Rio Aro, Sector Peramantal, Municipio Sucre Estado Bolívar

Fecha: 23 / Mayo / 2013

ANALISIS QUIMICO DE AGUA

Parámetros	Estación 04	Estación 05	Unidades
P H	6.84	6.86	-----
Alcalinidad total	16	17	mg/l
Dureza total	24	24	mg/l
Sólidos totales	172	176	mg/l
O.D	4.22	4.20	mg/l
D.B.O ₅₋₂₀	0.10	0.10	mg/l
Nitratos	5.85	5.96	mg/l
Fosfatos	0.28	0.31	mg/l
Calcio	6.59	6.63	mg/l
Magnesio	1.52	1.54	mg/l
Hierro	0.12	0.12	mg/l
Manganeso	0.01	0.01	mg/l
Cloruros	29	31	mg/l


Técnico Isidro Farias
 Analista



Continuación de E.1



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
 NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
 CENTRO DE GEOCIENCIAS

Solicitante: JUAN DE JESUS, MARCANO / GERMAIN DE JESUS, FIGUERA

Lugar: Rio Aro, Sector Peramantal, Municipio Sucre Estado Bolívar

Fecha: 23 / Mayo / 2013

ANALISIS BACTEREOLÓGICO DE AGUA

Estaciones	Coli, Totales	Coli, Fecales
01	1.4×10^2	Ausentes
02	1.7×10^2	Ausentes
03	2.2×10^2	Ausentes
04	2.5×10^2	Ausentes
05	2.5×10^2	2
Unidades	NMP/100ml	NMP/100ml


 Técnico Isidro Farias
 Analista



Continuación de E.1



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

Solicitante: JUAN DE JESUS, MARCANO / GERMAIN DE JESUS, FIGUERA

Lugar: Río Aro, Sector Peramanal, Municipio Sucre Estado Bolívar

Fecha: 23 / Mayo / 2013

INDICE DE CALIDAD DE AGUA

Estación	TEMP	O.D	COLI.	FOSFATO	NITRATO	D.B.O	S.T	P H	TURBIDEZ	I.CA	CLASE
01	90	50	90	70	38	98	75	85	55	69.33%	Media
02	90	48	90	68	35	95	70	82	55	67.14%	Media
03	90	46	90	60	30	94	68	80	50	63.65%	Media
04	90	43	90	56	27	90	52	78	50	59.68%	Media
05	90	40	88	50	30	90	50	75	42	57.37%	Media

Isidro Farias
Técnico Isidro Farias
 Analista



Prof. Liebig Ramírez
 Coordinador del Centro de Geociencia

E.2 Análisis Morfoscopico de Las partículas de los sedimentos (Esfericidad y Redondez)



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

Solicitante: GERMAIN FIGUERA / JUAN MARCANO

Lugar: Rio Aro

Fecha: 12 / Marzo / 2013

ANALISIS MORFOSCOPICO

Forma de las Partículas	M----01 Nº de Partículas	%	M----02 Nº de Partículas	%	M----03 Nº de Partículas	%
Angulosas	165	82.50	152	76.00	146	73.00
Sub Angulosas	29	14.50	36	18.00	32	16.00
Sub Redondeadas	4	2.0	7	3.50	14	7.00
Redondeadas	2	1.00	5	2.50	8	4.00
Bien Redondeadas	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Total Partículas	200	100	200	100	200	100



Continuación de E.2



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

Solicitante: GERMAIN FIGUERA / JUAN MARCANO

Lugar: Rio Aro

Fecha: 12 / Marzo / 2013

ANALISIS MORFOSCOPICO

Forma de las Partículas	M---- 04 Nº de Partículas	%	M----05 Nº de Partículas	%
Angulosas	145	72.50	145	72.50
Sub Angulosas	37	18.50	41	20.50
Sub Redondeadas	12	6.00	8	4.00
Redondeadas	6	3.00	6	3.00
Bien Redondeadas	0	0.00	0	0.00
Total Partículas	200	100	200	100



ANEXOS

MAPA TOPOGRÁFICO DEL RÍO ARO

MAPA GEOLÓGICO DEL RÍO ARO