

**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL
ACUÍFERO DEL MUNICIPIO GUACARA
DEL ESTADO CARABOBO**



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO
GUACARA DEL ESTADO CARABOBO**

Autor: Ing. Yorman G. Peraza B.

Bárbula, Junio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO
GUACARA DEL ESTADO CARABOBO**

Autor: Ing. Yorman G. Peraza B.

Tutora: Ing. MSc. Ph.D Adriana Márquez

Bárbula, Junio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO
GUACARA DEL ESTADO CARABOBO**

AUTOR: ING. YORMAN PERAZA
TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE EL
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA
AMBIENTAL.

Bárbula, Junio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



AVAL DEL TUTOR

Dando cumplimiento a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo en su artículo 133, quien suscribe PROF. ADRIANA MARQUEZ, titular de la cédula de identidad V-12.604.007, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Maestría titulado: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO GUACARA DEL ESTADO CARABOBO, presentado por: ING. YORMAN GUSTAVO PERAZA BARRETO, C.I.: V-14.069.894, para optar al título de MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL, hago constar que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y a la evaluación por parte del jurado examinador que se le designe.

En Bárbula a los Dos (02) días del mes de Junio del año dos mil dieciocho (2.018).

Prof. ADRIANA MARQUEZ

C.I.: V-12.604.007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
SECCIÓN DE GRADO



ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

En atención a lo dispuesto en los Artículos 137, 138 y 139 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Grado titulado:


“ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO DEL MUNICIPIO GUACARA DEL ESTADO CARABOBO”


Presentado para optar al grado de *MAGÍSTER EN INGENIERIA AMBIENTAL* por el (la) aspirante:


YORMAN PERAZA.
V.- 14.069.894

Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO.**

En Valencia, a los veinticinco (25) día del mes de Julio del año dos mil dieciocho.


Prof. Adriana Márquez
C.I.: 12604007
Fecha: 25/07/2018


Prof. Samuel Cárdenas
C.I.: 11.753.640
Fecha: 25/07/2018
FE: 19/07/2018 al-


Prof. Nereida Sánchez
C.I.: 7116755
Fecha: 25/07/2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO
GUACARA DEL ESTADO CARABOBO**

AUTOR: ING. YORMAN PERAZA

Aprobado en el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo por
Miembros de la Comisión Coordinadora del Programa:

Bárbula, Junio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO GUACARA DEL ESTADO CARABOBO, presentado por: ING. YORMAN GUSTAVO PERAZA BARRETO, C.I.: V- 14.069.894 para optar al título de MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como: _____

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bárbula, Junio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO GUACARA DEL ESTADO CARABOBO

Autor: Ing. Yorman G. Peraza B.

Tutora: Ing. MSc. Ph.D Adriana Márquez

Fecha: Junio 2018

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo el análisis de la vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara del estado Carabobo, a fin determinar los grados de vulnerabilidad a la contaminación en muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto en los diferentes sectores del municipio para los distintos meses de los años 2015, 2016 y hasta Julio 2017, la investigación se tipifica como descriptiva, con diseño de campo. Se recolectó información de la ubicación de los pozos y de los parámetros: profundidad del nivel estático, recarga neta, tipo de acuífero, tipo de suelo, topografía, impacto de la zona no saturada y conductividad hidráulica, en planillas de registro, para evaluar la vulnerabilidad del acuífero según el método DRASTIC. Seguidamente se generaron los mapas de Vulnerabilidad para determinar el grado de la misma. El procesamiento de la información es realizado usando el Software ArcGIS 10.0. El perfil litológico predominante incluye los siguientes materiales: capa vegetal, arena bien graduada, arena fina a gruesa, arcilla, grava bien graduada, grava fina a gruesa. De los datos litológicos junto con la topografía y recarga neta se dedujo que la vulnerabilidad al riesgo de contaminación del acuífero del municipio Guacara se localiza entre (0-3) % del área en el nivel alto, (67-79) % en nivel moderado, (14-27) % en nivel bajo y (4-7) % en nivel muy bajo.

Descriptor: Acuíferos, vulnerabilidad, propiedades geofísicas y Software ArcGIS.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



ANALYSIS OF THE VULNERABILITY OF THE AQUIFER OF THE GUACARA MUNICIPALITY OF THE CARABOBO STATE

Author: Ing. Yorman G. Peraza B.

Tutora: Ing. MSc. Ph.D Adriana Márquez

Date: June 2018

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the vulnerability of the aquifer of the municipality of Guacara in the state of Carabobo, in order to determine the levels of vulnerability to contamination in very low, low, moderate, high and very high levels in the different sectors of the municipality for different months of the years 2015, 2016 and until July 2017, the research is typified as descriptive, with field design. Information on the location of the wells and the parameters was collected: depth of the static level, net recharge, type of aquifer, soil type, topography, impact of the unsaturated zone and hydraulic conductivity, in registration forms, to evaluate the vulnerability of the aquifer according to the DRASTIC method. Vulnerability maps were then generated to determine the degree of vulnerability. The processing of the information is done using the ArcGIS 10.0 Software. The predominant lithological profile includes the following materials: vegetable layer, well graded sand, fine to coarse sand, clay, well graded gravel, fine to coarse gravel. From the lithological data together with the topography and net recharge it was deduced that the vulnerability to the risk of contamination of the aquifer of the Guacara municipality is between (0-3) % of the area in the high level, (67-79) % in moderate level, (14-27) % in low level and (4-7) % in very low level.

Descriptors: Aquifers, vulnerability, geophysical properties and ArcGIS software.

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. MSc. Ph.D Adriana Márquez, por todas sus orientaciones desde el inicio de la maestría, por su dirección, paciencia, entrega y valiosos consejos que me permitieron alcanzar todos los objetivos de ésta tesis de maestría.

A Nuestra querida Universidad de Carabobo y la Dirección de Postgrado de Ingeniería por la oportunidad brindada en enriquecer y fortalecer mis conocimientos y mi desarrollo profesional durante el postgrado.

A todos los profesores que tuve el honor de conocer en las aulas de clases, por sus valiosos conocimientos compartidos.

Al Instituto Autónomo Municipal del Agua Guacara (IMAGUA) de la Alcaldía de Guacara por el apoyo brindado.

A la de la Dirección Estatal del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas del estado Carabobo, por el apoyo prestado durante el inicio de ésta tesis.

Al Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC), por su ayuda en las actividades de campo.

En especial a mis padres, hermano y novia de los cuales siempre recibí su apoyo.

Finalmente, a todas aquellas personas, colegas y amigos que me brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de mis objetivos.

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta éste momento tan importante de mi formación profesional.

A la memoria de mis abuelas Zoila y Marcela, estoy seguro que desde el cielo están orgullosas de verme haber logrado esta meta.

A mis padres Gustavo y Olivia, que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles y a luchar para alcanzar mis metas.

A mi hermano Yonarl y mi novia Alejandra, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mis familiares y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESÚMEN	viii
ABSTRACT	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DEDICATORIA	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
INTRODUCCIÓN	01
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA	
Planteamiento del Problema.....	03
Formulación del problema.....	09
Objetivos de la Investigación.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
Justificación.....	11
Alcances y limitaciones.....	12
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
Antecedentes de la Investigación.....	14
Bases Teóricas.....	18
Bases Legales.....	40
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	

Tipo de Investigación.....	48
Diseño de la Investigación.....	48
Población y Muestra.....	49
Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos.....	49
Análisis de los Datos.....	50
Procedimientos de la Investigación.....	51
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	53
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	
Resultados.....	55
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	101
Recomendaciones.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Parámetros del Método DRASTIC.....	22
Tabla 2. Factor de calificación para la variable profundidad de agua (D).....	23
Tabla 3. Factor de calificación para la variable recarga neta (R).....	24
Tabla 4. Factor de calificación para la variable naturaleza del acuífero (A).....	24
Tabla 5. Factor de calificación para la variable tipo de suelo (S).....	25
Tabla 6. Factor de calificación para la variable topografía (T).....	25
Tabla 7. Factor de calificación para la variable impacto de zona vadosa (I).....	26
Tabla 8. Factor de calificación para la variable conductividad hidráulica (C)...	27
Tabla 9. Clasificación de la vulnerabilidad en siete diferentes categorías en función del valor del índice DRASTIC.....	28
Tabla 10. Mapas a adoptar en función de la magnitud de la zona objeto de estudio.	29
Tabla 11. Recursos Económicos.....	53
Tabla 12. Cronograma de Actividades.....	56
Tabla 13. Ubicación e identificación de pozos con perfiles litológicos del acuífero del Municipio.....	57
Tabla 14. Perfiles litológicos de pozos del acuífero del Municipio Guacara mostrados en Figura 10.....	58
Tabla 15. Descripción del código de cada capa de suelo.....	59
Tabla 16. Estadísticas de la Elevación de terreno.....	60
Tabla 17. Estadísticas de la Pendiente de terreno.....	61
Tabla 18. Estadísticas de la Porosidad Efectiva.....	62
Tabla 19. Estadísticas de la Permeabilidad.....	63
Tabla 20. Estadísticas de la Transmisividad.....	64
Tabla 21. Estadísticas del Espesor Saturado.....	66
Tabla 22. Estadísticas del Factor D.....	70
Tabla 23. Estadísticas del Factor R. Enero 2015.....	70
Tabla 24. Estadísticas del Factor R, Febrero 2015.....	70

Tabla 25. Estadísticas del Factor R, Marzo 2015.....	71
Tabla 26. Estadísticas del Factor R, Abril 2015.....	71
Tabla 27. Estadísticas del Factor R, Mayo 2015.....	71
Tabla 28. Estadísticas del Factor R, Junio 2015.....	71
Tabla 29. Estadísticas del Factor R, Julio 2015.....	72
Tabla 30. Estadísticas del Factor R, Agosto 2015.....	72
Tabla 31. Estadísticas del Factor R, Septiembre 2015.....	72
Tabla 32. Estadísticas del Factor R, Octubre 2015.....	73
Tabla 33. Estadísticas del Factor R, Noviembre 2015.....	73
Tabla 34. Estadísticas del Factor R, Diciembre 2015.....	73
Tabla 35. Estadísticas del Factor R, Enero 2016.....	73
Tabla 36. Estadísticas del Factor R, Febrero 2016.....	74
Tabla 37. Estadísticas del Factor R, Marzo 2016.....	74
Tabla 38. Estadísticas del Factor R, Abril 2016.....	74
Tabla 39. Estadísticas del Factor R, Mayo 2016.....	75
Tabla 40. Estadísticas del Factor R, Junio 2016.....	75
Tabla 41. Estadísticas del Factor R, Julio 2016.....	75
Tabla 42. Estadísticas del Factor R, Agosto 2016.....	76
Tabla 43. Estadísticas del Factor R, Septiembre 2016.....	76
Tabla 44. Estadísticas del Factor R, Octubre 2016.....	76
Tabla 45. Estadísticas del Factor R, Noviembre 2016.....	76
Tabla 46. Estadísticas del Factor R, Diciembre 2016.....	77
Tabla 47. Estadísticas del Factor R, Enero 2017.....	77
Tabla 48. Estadísticas del Factor R, Febrero 2017.....	77
Tabla 49. Estadísticas del Factor R, Marzo 2017.....	77
Tabla 50. Estadísticas del Factor R, Abril 2017.....	78
Tabla 51. Estadísticas del Factor R, Mayo 2017.....	78
Tabla 52. Estadísticas del Factor R, Junio 2017.....	79
Tabla 53. Estadísticas del Factor A.....	80

Tabla 54. Estadísticas del Factor S.....	81
Tabla 55. Estadísticas del Factor T.....	82
Tabla 56. Estadísticas del Factor I.....	83
Tabla 57. Estadísticas del Factor C.....	89
Tabla 58. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Enero 2015.....	89
Tabla 59. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Febrero 2015.....	89
Tabla 60. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Marzo 2015.....	90
Tabla 61. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Abril 2015.....	90
Tabla 62. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Mayo 2015.....	90
Tabla 63. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Junio 2015.....	91
Tabla 64. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Julio 2015.....	91
Tabla 65. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Agosto 2015.....	91
Tabla 66. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Septiembre 2015.....	92
Tabla 67. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Octubre 2015.....	92
Tabla 68. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Noviembre 2015.....	92
Tabla 69. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Diciembre 2015.....	93
Tabla 70. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Enero2016.....	93
Tabla 71. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Febrero 2016.....	93
Tabla 72. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Marzo 2016.....	94
Tabla 73. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Abril 2016.....	94
Tabla 74. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Mayo 2016.....	94
Tabla 75. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Junio 2016.....	95
Tabla 76. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Julio 2016.....	95
Tabla 77. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Agosto 2016.....	95
Tabla 78. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Septiembre 2016.....	96
Tabla 79. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Octubre 2016.....	96
Tabla 80. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Noviembre 2016.....	96
Tabla 81. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Diciembre 2016.....	97
Tabla 82. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Enero 2017.....	97

Tabla 83. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Febrero 2017.....	97
Tabla 84. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Marzo 2017.....	98
Tabla 85. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Abril 2017.....	98
Tabla 86. Estadísticas de la Vulnerabilidad, Mayo 2017.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ejemplo de mapa de vulnerabilidad a la contaminación con leyenda a colores.....	30
Figura 2. Acuífero Detrítico.....	32
Figura 3. Acuífero Fisurado.....	33
Figura 4. Acuífero Kárstico.....	33
Figura 5. Acuífero Libre.....	34
Figura 6. Acuífero Confinado.....	35
Figura 7. Acuífero Semiconfinado.....	35
Figura 8. Acuífero Colgado.....	36
Figura 9. Organización en Capas con SIG.....	39
Figura 10. Ubicación de pozos con perfiles litológicos del acuífero del Municipio Guacara.....	55
Figura 11. Elevación de terreno del acuífero del Municipio Guacara.....	59
Figura 12. Pendiente de terreno del acuífero del Municipio Guacara del Estado Carabobo.....	60
Figura 13. Porosidad Efectiva del acuífero del Municipio Guacara.....	61
Figura 14. Permeabilidad del acuífero del Municipio Guacara.....	62
Figura 15. Transmisividad del acuífero del Municipio Guacara.....	63
Figura 16. Espesor Saturado del acuífero del Municipio Guacara.....	64
Figura 17. Factor D. Profundidad del Agua del acuífero del Municipio Guacara	66
Figura 18. Factor R del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2015 hasta Diciembre-2015.....	67

Figura 19. Factor R del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2016 hasta Diciembre-2016.....	68
Figura 20. Factor R del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2017 hasta Junio-2017.....	69
Figura 21. Factor A del Acuífero del Municipio Guacara.....	79
Figura 22. Factor S del Acuífero del Municipio Guacara.....	80
Figura 23. Factor T del Acuífero del Municipio Guacara.....	81
Figura 24. Factor I del Acuífero del Municipio Guacara.....	82
Figura 25. Factor C del Acuífero del Municipio Guacara.....	83
Figura 26. Vulnerabilidad del acuífero del Municipio desde Enero-2015 hasta Diciembre-2015.....	86
Figura 27. Vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2016 hasta Diciembre-2016.....	87
Figura 28. Vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2017 hasta Junio-2017.....	88

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas son una fuente crítica de agua potable para casi la mitad de la población mundial, además de suplir necesidades de irrigación en la agricultura. Por otro lado, éstas son también importantes para el sostenimiento de corrientes, lagos, humedales y otros ecosistemas asociados.

El flujo subterráneo en acuíferos poco profundos forma parte del ciclo hidrológico, y resulta afectado por la variabilidad y el cambio climático por efecto de procesos de recarga y por la intervención humana en numerosos lugares. Los niveles subterráneos de numerosos acuíferos del mundo han experimentado una tendencia decreciente durante los últimos años, aunque ello se debe, por lo general, al bombeo de agua subterránea a un mayor ritmo que la recarga, y no a una disminución freática relacionada con el clima.

En este contexto, los Estados han empezado a tener en cuenta los efectos negativos sobre el ambiente que traen dichas actividades, y han venido tomando medidas efectivas al respecto, con nuevos conceptos en los marcos jurídicos, control y manejo de la disponibilidad de los recursos y con una inmediata necesidad de modificar la manera de administrar los mismos.

Por lo tanto, esta investigación quiere sumarse a tales iniciativas, y en virtud de que el agua subterránea es una de las principales fuentes de abastecimiento en el municipio Guacara, se tiene como propósito analizar la vulnerabilidad del acuífero de dicho municipio ubicado en el estado Carabobo, Venezuela, mediante la metodología DRASTIC, que permite representar a través de siete parámetros los grados de vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero.

En función de esto, el proyecto se describe en cuatro capítulos:

El Capítulo I, o El Problema, contiene el planteamiento del problema, la formulación del mismo, el objetivo general y los específicos, así como la justificación de la investigación y su delimitación.

El Capítulo II, o Marco Teórico, comprende los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y las bases legales que lo sustentan.

El Capítulo III, o Marco Metodológico, está conformado el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección de la información, el análisis e interpretación de los datos, los procedimientos para realizar este trabajo.

En el Capítulo IV se presenta la Discusión de los Resultados obtenidos de cada uno de los objetivos de la investigación.

Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones realizadas, así como las referencias bibliográficas y anexos requeridos para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

Las aguas subterráneas constituyen la mayor reserva de agua dulce del mundo, y representan más del 97% del total de agua dulce disponible en el planeta, excluyendo los glaciares y los casquetes polares. El 3% restante corresponde esencialmente a las aguas superficiales -lagos, ríos, humedales- y a la humedad del suelo.

Históricamente la utilización de aguas subterráneas ha sido un factor clave para el desarrollo de muchas ciudades. Algunas de las más pobladas del mundo se abastecen mayoritariamente con aguas subterráneas. Entre ellas están México, Calcuta, Shanghái, Buenos Aires, Dhaka, Manila, Pekín, París y Londres, y más de 4 millones de neoyorquinos se suministran del acuífero que hay a sus pies en Long Island. España es uno de los países europeos donde el porcentaje de utilización de aguas subterráneas para usos urbanos es más bajo, solo alcanza a un 30% de la población, siendo habitual en los europeos superar el 70%, es casi el 100% en Dinamarca, y supera al 50% en los Estados Unidos (Hutson et al 2004). En EE.UU. la utilización relativa de aguas subterráneas para riego ha ido creciendo de forma continua, desde el 23% del total en 1950 hasta el 42% en el 2000. Este porcentaje supera el 50% en la mayoría de los estados del Oeste. La extracción total de agua subterránea para todos los usos en el año 2000 fue de 115 km³; un 14% más que en 1985.

En el Sureste de Asia, el norte de China, México y en casi todas las regiones áridas y semiáridas del mundo se ha producido en las tres últimas décadas un aumento exponencial del riego con aguas subterráneas, proceso al que Llamas (2004), denomina como revolución silenciosa por haberse realizado por millones de agricultores pobres de esos países, que han perforado millones de pozos, sin apenas control ni ayuda técnica de las agencias de agua, ni subvenciones del estado o de organismos estatales. Pozos de los que estima que es probable se extraigan entre 700 y 1000 km³ de agua al año. La causa principal para que se produzca este hecho es que el coste de la explotación de las aguas subterráneas es relativamente pequeño.

Según el mapa de los acuíferos editado por la UNESCO, el acuífero más grande del mundo está ubicado en África, entre Egipto, Chad, Sudán y Libia y abarca unos 2 millones de km². Su volumen es de 75 mil millones de metros cúbicos de aguas fósiles, es decir, no se renueva desde fuentes superficiales.

El segundo lugar lo ocupa el Acuífero del Norte del Sahara, que alberga 60 mil millones de metros cúbicos de agua.

El Acuífero Guaraní ocupa el 3^{er} puesto por su tamaño este recurso natural que comparten cuatro países (Argentina, Brasil, Uruguay y Paraguay), tiene un volumen de 37 mil millones de metros cúbicos.

En Venezuela existen grandes reservorios subterráneos tanto en sedimentos no consolidados como consolidados, cerca del 55 % de la superficie del país está cubierta por sedimentos poco o no consolidados con buenas posibilidades para la acumulación de agua y por rocas consolidadas, con porosidad por fracturamiento y/o disolución con rendimientos altos a bajos

De acuerdo a la evaluación de los órdenes de magnitudes, las reservas renovables de aguas subterráneas se ubican en 22.312 millones de m³ y las reservas totales en el territorio a la margen izquierda del río Orinoco son del orden de 7.7 billones de m³ y una estimación preliminar señala que aproximadamente el 50% del abastecimiento de agua potable, industrial y de riego en el país proviene de aguas subterráneas.

Las zonas con mejores disponibilidades de aguas subterráneas y de acuíferos de importancia regional, se encuentran principalmente en las zonas de la Región Central, en el Sur y planicie del Lago de Maracaibo, en el piedemonte de la región Andina de los Llanos Centrales y Occidentales, en la Mesa de Guanipa, al centro del estado Anzoátegui y en algunos sectores de la extensa franja de los acuíferos costeros.

Según la Dirección Hidrológica del MARNR de 1995, los acuíferos se pueden clasificar de acuerdo a su potencialidad en: Acuíferos de gran potencialidad (Mesa de Guanipa del Estado Anzoátegui, Sur de Monagas, Sistema del río Guárico, Llanos de Barinas, Portuguesa y Apure), Acuíferos con potencial medio (Barlovento, Valle de Caracas), Acuíferos en vías de agotamiento (Valle de Quibor del Estado Lara, Coro del Estado Falcón) y Otras unidades acuíferas (Valencia, San Joaquín–Mariara, Guigue y Maracay).

El estado Carabobo forma parte en el ámbito nacional, de las Regiones Hidrográficas establecidas en la Ley de Aguas (publicada en la Gaceta Oficial N° 38.595 de fecha 2 de enero de 2007) en las cuales , se encuentran la Región Centro Occidental; formada por los ríos que drenan al litoral del estado Carabobo pertenecientes a la cuenca del Mar Caribe, la Región Lago de Valencia; donde forman parte los ríos que drenan a la cuenca hidrográfica endorreica, la Región Llanos Centrales; que en el estado la forman los ríos que drenan a la Cuenca Hidrográfica del río Tiznado (Cuenca Alta del río Tiznado) y la Región Centro Oriental; conformada por los ríos que drenan a la Cuenca Hidrográfica del río Pao (Cuenca Alta y Media del Río Pao).

En la Región Central existe un gran sistema para la producción, tratamiento y distribución de agua potable, denominado Sistema Regional del Centro (S.R.C), el cual abastece a la mayor parte de la población de los estados: Carabobo, Aragua y Cojedes. Este sistema se encuentra en operación desde la década de los 70, cuando entra en funcionamiento su primera etapa, y luego en 1995 entra en funcionamiento parcialmente la segunda etapa del sistema.

El sistema regional del Centro II: Abastece a parte de las poblaciones del Estado Carabobo ubicadas en el eje del Lago de Valencia, comprendidas por el Municipio Carlos Arvelo, Flor Amarillo, Los Guayos, Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra. Comprende como fuente el embalse Pao La Balsa, estación de bombeo, planta potabilizadora Lucio Baldó Soulés y el sistema de distribución que se divide en los tramos denominados 4 y 5, respectivamente.

El tramo 5 proporciona el abastecimiento para los sectores de las Tinajas en Carlos Arvelo y Flor Amarillo en Valencia, progresivamente se contempla el suministro hacía los municipios Los Guayos, Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra en el Edo. Carabobo, continuando así hacía el Edo. Aragua

El suministro del Municipio Guacara está dividido de la siguiente manera: Guacara, Ciudad Alianza, Yagua y El Toco, los cuales abastecen un total de 540 l/s. Cuenta adicionalmente con pozos profundos, encontrándose once (11) pozos activos con una producción de 95 l/s administrados por Hidrocentro.

El casco de Guacara cuenta con un solo empalme del SRC II, el cual se ubica al este de Guacara y el suministro es directo a la red.

La comunidad de Ciudad Alianza se alimenta mediante el empalme que llega hasta la carretera nacional.

En la comunidad de Yagua el abastecimiento es a partir del empalme del SRC II, a la altura del sector Los Naranjillos.

El sector El Toco, es donde se cierra la poligonal urbana al norte del municipio, cuyos sectores aledaños son considerados área rural, abastecidos por pozos profundos y el sector Vigirima se abastece por la fuente superficial del río Vigirima y por pozos profundos.

El Municipio Guacara está conformado de 147 sectores, de los cuales 44 se suministran de agua a través de pozos profundos y 9 de captaciones superficiales los cuales no son administrados por Hidrocentro, sino por el Instituto Autónomo Municipal del Agua Guacara (IMAGUA) ente recién creado y adscrito a la Alcaldía de Guacara.

El interés que la comunidad científica mundial ha puesto en los recursos hídricos subterráneos, tiene su origen en la creciente demanda del agua a escala mundial, acompañado de la disminución de su disponibilidad como consecuencia directa de la desigual distribución tempoespacial de la precipitación, la contaminación de las fuentes, y quizá a la influencia de los cambios globales.

La vulnerabilidad de un acuífero es función de la resistencia de la zona no saturada a la penetración de contaminantes, así como de la capacidad de dicha zona de atenuar o reducir la acción del o los agentes contaminantes. La capacidad de resistencia de la zona no saturada depende de varios factores, entre los cuales destacan: el grado de confinamiento del acuífero, la profundidad del nivel de agua dentro del medio poroso permeable, así como la humedad y permeabilidad vertical en la zona no saturada. Por su parte, la capacidad de atenuación se relaciona con los distintos procesos que tienen lugar dentro de la zona no saturada del suelo, entre los que se cuentan: dispersión, dilución, decaimiento, hidrólisis, adsorción, entre otros. La vulnerabilidad de la formación acuífera definida a partir de los conceptos anteriores no incluye aspectos relacionados con el uso del suelo, el tipo y características químicas de los contaminantes depositados o los usos del recurso hídrico subterráneo.

La definición tradicional de Vulnerabilidad de un Acuífero se refiere a la susceptibilidad natural que presenta a la contaminación, y está determinada principalmente por las características intrínsecas del acuífero. De acuerdo al National Academy Council (1993) el concepto de Vulnerabilidad del Agua Subterránea se refiere a la tendencia o probabilidad que un contaminante alcance una posición especificada en el sistema acuífero, después de su introducción en algún punto sobre el terreno.

La literatura especializada (National Academy Council, 1993) señala tres enfoques generales que pueden ser utilizados para evaluar la vulnerabilidad de una formación acuífera:

- Métodos de índices y superposición.
- Métodos que emplean modelos de simulación.

- Métodos estadísticos o de monitoreo.

La determinación de la vulnerabilidad a través de modelos de simulación es muy difícil de realizar en Venezuela, y en otros países en vías de desarrollo, debido a la gran cantidad de información necesaria. Sin embargo, este método es muy apropiado para analizar situaciones puntuales o con poca extensión espacial. Los métodos estadísticos o de monitoreo no permiten determinar la vulnerabilidad, sino que se utilizan para realizar estudios probabilísticos que evalúen la posible dispersión del contaminante. Debido a lo anterior, esta investigación se centrará en los métodos de Índices y Superposición, para los cuales existen experiencias a nivel tanto nacional como internacional que avalan su correcto funcionamiento.

Uno de los métodos más difundidos a nivel internacional para el estudio de vulnerabilidad de acuíferos es el método DRASTIC (Aller et al, 1987), cuyo nombre se deriva de un acrónimo que incluye los parámetros o variables de interés para su análisis: D (Depth, Profundidad del nivel freático bajo la superficie del terreno, numérico, influye en el tiempo de tránsito), R (Recharge, Recarga que recibe el acuífero, numérico, influye en el tiempo de tránsito), A (Aquifer, Litología y estructura del medio acuífero, por categorías, influye en la renovación del agua en el acuífero), S (Soil, Tipo de suelo, por categorías, influye en el transporte de masa de contaminantes no conservativos), T (Topography, Pendiente del terreno, numérico por categorías, influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y subsuperficial), I (Impact, Naturaleza de la zona no saturada, por categorías, influye en el transporte de contaminantes reactivos) y C (Conductivity, Conductividad hidráulica, permeabilidad, influye en la renovación del agua en el acuífero).

El modelo DRASTIC estima la vulnerabilidad a partir de un índice global que incorpora la contribución de los distintos parámetros a través de un puntaje para cada parámetro y un ponderador o peso por cada parámetro.

De aquí surge el objetivo de este estudio, de analizar la vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara, a fin de identificar y cuantificar a través de un mapa de vulnerabilidad los acuíferos y pozos presentes en este municipio.

Para ello, se aplicará el método DRASTIC, el cual emplea siete parámetros hidrogeológicos que permiten establecer cinco grados de vulnerabilidad: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.

Además, para realizar el mapa de vulnerabilidad se utilizará el Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se plasmarán los datos obtenidos del método DRASTIC, de manera simultánea y automatizada.

Formulación del problema

Es importante establecer medidas para controlar o remediar la contaminación de las aguas subterráneas, con el fin de obtener un recurso de calidad para abastecer las áreas industriales, urbanas y rurales que requieren del vital líquido para su desarrollo.

Para ello, es necesario conocer la forma en que responde el medio que protege al acuífero en zonas que son focos de contaminación, como las industriales y donde no lo son del todo.

Por lo tanto, es necesario recolectar información de todos los pozos del municipio Guacara, para generar una base de datos donde luego de una inspección en sitio, se identifiquen la ubicación geográfica y las propiedades geofísicas de los mismos.

En los pozos en los que se tengan la ubicación y libre acceso, se deben realizar mediciones de nivel estático y dinámico del caudal de agua durante el año.

Con los datos obtenidos de las mediciones realizadas a cada pozo, debemos aplicar modelos matemáticos de estimación de los parámetros hidráulicos Transmisividad y Coeficiente de almacenamiento del acuífero.

Seguidamente, se deben elaborar mapas de vulnerabilidad del acuífero, de los cuales se realizará el análisis de la vulnerabilidad del municipio Guacara.

Por ello y con base a todo lo descrito, surgen las siguientes Interrogantes:

¿Dónde se encuentran geográficamente los pozos subterráneos del Municipio Guacara?

¿Cuál es la composición geofísica de los pozos del Municipio Guacara?

¿Qué método será aplicado para determinar la vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara?

¿Cuál será el grado de vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Analizar la vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara del estado Carabobo.

Objetivos Específicos

3.1. Identificar la ubicación geográfica y propiedades geofísicas de los pozos subterráneos en el Municipio Guacara.

3.2. Describir composición geofísica en pozos del Municipio Guacara.

3.3. Aplicar métodos para estimar la vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara.

3.4. Elaborar mapas de vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara.

Justificación

En términos generales, las aguas subterráneas son de mejor calidad que las aguas superficiales, las primeras representan un recurso importante para el desarrollo socioeconómico de Guacara; convirtiéndose en la segunda fuente de abastecimiento de agua potable en nuestro municipio. Su explotación, se realiza a través de la perforación de pozos y mediante la captación de manantiales.

Considerando que el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas suele ser lento y zonal, permite que los problemas de alteración de la calidad se detecten transcurrido bastante tiempo desde el inicio de la actividad contaminante, producto de las diversas actividades que potencialmente generan una carga contaminante importante al subsuelo y ocasionan un riesgo de contaminación a las aguas subterráneas.

Es por ello que debido a la problemática expuesta anteriormente, se necesita información que sea generada y utilizada como herramienta que nos permita realizar una buena gestión del recurso hídrico subterráneo, y ante tal necesidad surge el concepto de vulnerabilidad de las aguas subterráneas, el cual facilita el manejo de los recursos hídricos, contando con instrumentos prácticos que permiten conocer en cierta medida el estado del recurso y definir los aspectos que deben tenerse en cuenta para su cuidado ambiental.

En nuestro municipio existen 147 sectores, de los cuales 94 son atendidos por la Compañía Anónima Hidrológica del Centro (Hidrocentro C.A.), otros 9 consumen agua de captaciones superficiales y 44 se abastecen de pozos profundos de agua ubicados en su mayoría hacia la zona norte del municipio. La zona industrial como son: Pruinca, El Tigre y El Nepe, se abastecen de pozos profundos.

De las 44 comunidades que se abastecen de pozos profundos, tenemos que se benefician de este vital líquido un aproximado de 60.612 habitantes. Los cuales tienen una condición socio económica de clase baja a media, en su mayoría. Para lo cual se quiere garantizar que el agua que estos consuman de los grifos de su casa sea potable para consumo humano.

Por lo dicho anteriormente, la realización del análisis de la vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara del estado Carabobo, permitiría a futuro determinar el impacto que se le puede causar al acuífero por distintos factores contaminantes y así contar con información para la toma de decisiones que vendrían a ayudar a minimizar los daños que pueden ser generados y en cierta manera conocer el estado actual del mismo.

Alcances y limitaciones

Ésta investigación está orientada hacia la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara del Estado Carabobo durante el año 2015, 2016 y 2017 hasta el mes de Junio. Así mismo servirá como antecedente y orientación para futuros trabajos prácticos y de investigación que estén relacionados hacia éste campo.

Al respecto, es importante acotar que este proyecto comprende una extensión geográfica que abarca la totalidad del municipio Guacara, enclavado en el extremo Centro-Norte de la región central de país, formando parte del Área Metropolitana de Valencia, con una superficie aproximada de 165 km². Sus límites geográficos son:

- **Norte:** con el Municipio Puerto Cabello y el Municipio Ocumare de la Costa de Oro (Estado Aragua).
- **Sur:** con el Lago de Valencia.
- **Este:** con el Municipio San Joaquín.

- **Oeste:** con el Municipio San Diego y el Municipio Los Guayos, ambos pertenecientes a la Gran Valencia.

Las siguientes limitaciones restringirán la investigación:

- La ubicación geográfica y litología de todos los pozos al no existir un registro de ellos, porque algunos no son registrados en el Ministerio para el Ecosocialismo y Agua, sino por otras instituciones y éstas no llevan un expediente de los mismos.
- Disposición en brindar información o disponibilidad de tiempo, por parte de los funcionarios de las instituciones que están encargados de los pozos, debido a sus ocupaciones laborales.
- Algunos pozos no cumplen con las normativas constructivas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes de la investigación y la revisión bibliográfica de los conceptos y definiciones que sentaron las bases de la investigación realizada.

2.1 Antecedentes de la investigación

Para Supo (2015) “Los antecedentes investigativos son estudios desarrollados dentro de nuestra línea de investigación, ubicados en el mismo nivel investigativo o por debajo de él”. En este sentido, a continuación se presentan los antecedentes, pero cabe destacar que en Venezuela no existen muchas investigaciones sobre análisis de la vulnerabilidad de acuíferos, por lo que solo será reseñada una investigación del ámbito nacional y las demás del internacional, en relación a las aguas subterráneas:

Carrillo F., Víctor E. (2015). **Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero del municipio San Diego, estado Carabobo**. Universidad de Carabobo. Bárbula, Estado Carabobo.

El objetivo es la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero del municipio San Diego del estado Carabobo, a fin determinar los grados de vulnerabilidad a la contaminación en muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto en los diferentes sectores del municipio. La investigación se tipifica como descriptiva, con diseño de

campo. Para recolectar la información se empleó la revisión documental, la observación directa mediante el uso de planillas de registros y el método DRASCTIC para determinar los grados de vulnerabilidad del acuífero. Para la localización geográfica de cada pozo se utilizó un equipo de posicionamiento satelital (receptor GPS). Los parámetros hidráulicos bajos y perfil litológico conducen a acuífero entre confinado semiconfinado. De los datos litológicos junto con la topografía y recarga neta se dedujo que la vulnerabilidad al riesgo de contaminación del acuífero en el municipio va desde baja, moderada a alta, además que la composición química de estas aguas es idónea para el consumo humano.

Vargas Q., María C. (2010). **Propuesta Metodológica Para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de Los Acuíferos a la Contaminación**. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Ambiente. Grupo de Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia.

En este documento se presentan las definiciones de los principales conceptos relacionados con la vulnerabilidad de los acuíferos y las metodologías empleadas para su evaluación y sus limitaciones. La vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación es un tema actual en la gestión del recurso hídrico y su evaluación tiene como objetivo la protección del agua subterránea: prevención de la contaminación y el mantenimiento de la calidad del agua subterránea no contaminada.

Cabe resaltar que la caracterización de la vulnerabilidad es una aproximación cualitativa y no cuantitativa, es decir que tiene un componente subjetivo que afecta el resultado final. Por tanto, dependiendo del método que se utilice, los resultados para un mismo acuífero pueden ser diferentes y su validez es relativa. Así mismo, la selección del método a usar depende de la cantidad, calidad y disponibilidad de información. En Colombia, la escogencia de la metodología es limitada debido a la escasez de información hidrogeológica.

Becerril D., Miguel A. (2013). **Vulnerabilidad Natural del Agua Subterránea en el Valle de Tula, Hidalgo**. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

En décadas recientes, la preocupación a nivel mundial sobre la contaminación de las aguas subterráneas ha aumentado y México no es la excepción, en particular debido al estado de la sobre explotación y contaminación intrínseca de sus acuíferos. Pese a esto, existen pocos estudios sobre la contaminación y vulnerabilidad de los acuíferos nacionales (BGS- CONAGUA, 1998), específicamente los relacionados a actividades susceptibles de degradar la calidad del agua subterráneas en la subcuenca del Manantial Cerro Colorado, ubicado en el Valle de Tula, Hidalgo; el cual se origina por la recarga incidental de aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). El objetivo de esta tesis fue establecer un perímetro de protección y determinar la vulnerabilidad natural del agua subterránea en la cuenca del Manantial Cerro Colorado. Este Manantial es de suma importancia para el abastecimiento de la población local y tiene un alto potencial como fuente alterna de agua para la ZMCM, por lo cual se requiere determinar su vulnerabilidad. Esto se hizo por medio de aplicar un balance hidrogeológico, en el cual se determinó que la disponibilidad de agua es de 251.4 Mm³/año, debido a la introducción de aguas residuales de ZMCM así como otras características particulares del suelo. Para determinar la vulnerabilidad de la cuenca se aplicó la metodología DRASTIC. Así, se encontró que en el centro-suroeste y noreste de la cuenca, la vulnerabilidad es moderada (140-159), mientras que en los alrededores del manantial es de alta a extrema (160-214). El cálculo del índice de contaminación potencial indica una alta susceptibilidad a la contaminación (40 a 70%), por lo que el radio de protección recomendado resultó de al menos 5 km.

Valverde, Jonathan A. (2000). **Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica**.

Este trabajo incluye análisis de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos por medio de dos métodos: DRASTIC y GOD. Estos métodos son internacionalmente reconocidos y buscan establecer la capacidad de atenuación de contaminantes por eliminación, retardación y dilución, para cargas impuestas en la superficie.

El método GOD es un modelo de vulnerabilidad multiplicativo, que toma en cuenta las variables de profundidad del agua, substrato litológico y nivel de confinamiento del acuífero. Los valores de las variables van de cero a uno, por lo tanto el índice GOD varía también en este rango. El método DRASTIC es un modelo de vulnerabilidad relativa de tipo sumativo, con diferentes factores de ponderación para cada una de las variables.

Con estos modelos y otra información geológica se crearon las diferentes capas de información para cada una de las variables de los métodos.

De los resultados de ambos métodos se puede concluir que las áreas de mayor vulnerabilidad a la contaminación son pequeñas y se concentran en las cercanías de los cauces de los ríos Virilla y Tibás y al suroeste de Santo Domingo, en el poblado de Santa Rosa. De ahí que la interacción río-acuífero deba estudiarse con mayor detalle, para establecer si el Río Virilla alimenta en algún punto al acuífero Colima Superior y por lo tanto lo contamina.

Salhi et al (2007) publicaron una investigación titulada: ***Aplicación del método DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero de Oued Laou (Marruecos).***

La metodología que se aplicó fue la cartografía DRASTIC de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero para tres años pluviométricos diferenciados en: seco, medio y húmedo, debido a la gran variabilidad del régimen pluviométrico del sector estudiado. Los resultados permitieron obtener un mapa de vulnerabilidad en el período seco, donde predominó vulnerabilidad baja en 35% en la llanura, localizado principalmente en el centro del acuífero. La vulnerabilidad moderada (63,5% y 61,5%) ocupó la mayor parte de la superficie de la llanura; y la categoría

vulnerabilidad extrema aparece únicamente dentro del mapa en el año húmedo que ocupó un sector limitado en el río aguas abajo de la llanura. El aporte a esta investigación es la metodología empleada.

2.2 Bases Teóricas

A continuación se explican los conceptos que sustentan el presente trabajo, en lo que respecta a vulnerabilidad, a los acuíferos, sistemas de información geográfica, entre otros.

2.2.1 Vulnerabilidad.

Desde que Margat (1968) introdujera el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”, se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientadas a su representación cartográfica.

Hasta la fecha, sin embargo, no se ha logrado consenso sobre el alcance del término y en este sentido, existen dos grandes corrientes.

Una está representada por aquellos investigadores que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (vulnerabilidad intrínseca) y en la otra orientación, se agrupan los que sí le otorgan, además del comportamiento del medio, trascendencia al tipo y carga del contaminante (vulnerabilidad específica).

También existen divergencias respecto a la utilidad de las representaciones cartográficas y a si la vulnerabilidad debe mantenerse en un marco cualitativo o pasar a otro cuantitativo. En este sentido en el Congreso XXIX del IAH, realizado en

Bratislava en 1999, se produjo una fuerte controversia entre las escuelas alemana y checa, al sostener la primera la necesidad de adecuar nuevas metodologías para transformar a la vulnerabilidad en una variable cuantitativa, mientras que los checos propiciaron el mantenimiento del alcance cualitativo del término, debido al inconveniente que implica la asignación de magnitudes representativas a los componentes y procesos que inciden en la vulnerabilidad.

Vrba y Zaporozec (1994) definen a la vulnerabilidad como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”. De la definición se desprende que los autores incluyen en la misma tanto al sistema subterráneo como a los contaminantes y dentro de estos a los artificiales y a los naturales.

Foster e Hirata (1991) dicen que la “vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta”. En este caso al citar a una carga contaminante impuesta, los autores parecen referirse solamente a una contaminación de origen artificial.

Custodio (1995) señala: “la vulnerabilidad a la polución expresa la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales”. Vuelven a aparecer aquí procesos naturales y/o artificiales, como potenciales generadores de la alteración.

Carbonell (1993) define la vulnerabilidad a la contaminación, como la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea, luego de ser introducidos por encima del acuífero más somero. En este caso el autor considera solamente la acción de los contaminantes.

EPA (1991) hace referencia a la vulnerabilidad subterránea respecto a un plaguicida, como la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie, puede alcanzar al acuífero en función de las prácticas agrícolas empleadas, las características del plaguicida y la susceptibilidad hidrogeológica. Esta definición

incorpora, además de las condiciones del medio, las propiedades del contaminante y las prácticas de cultivo (vulnerabilidad específica).

Otro concepto íntimamente asociado a la **vulnerabilidad** es el de **riesgo** a la contaminación, aunque este también genera diferencias en su definición, utilidad y técnicas para el mapeo.

Algunos autores (Foster, 1987) definen al riesgo como el peligro de deterioro en la calidad de un acuífero, por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno. Otros (Vrba y Zaporozec, 1994) lo asimilan a la vulnerabilidad específica, que se refiere al peligro de contaminación del agua subterránea respecto a un contaminante o familia de contaminantes de características y comportamientos similares (nitratos, hidrocarburos livianos o pesados, plaguicidas, materia orgánica, fenoles, metales, etc.).

En el entendimiento del suscrito la **vulnerabilidad intrínseca** tiene mayor utilidad en los trabajos de planificación de uso del territorio y del agua, particularmente en lo que respecta a la preservación de la calidad del recurso, en los sitios donde no está afectado, ni se realizan prácticas como fertilización, aplicación de plaguicidas, riego, cría concentrada de ganado, ni actividades domésticas, urbanas, o industriales, que por su intensidad pudieren afectarlo.

La **vulnerabilidad específica** incluye parcialmente el concepto de riesgo, toda vez que se refiere al peligro de deterioro en relación a sustancias contaminantes específicas.

Con el objeto de clarificar, se cita un ejemplo sencillo:

- a) un depósito con puertas sin llave ni candado, ubicado en la zona rural, es muy vulnerable debido al fácil acceso; sin embargo el riesgo de hurto o robo es bajo, porque en la región no hay vándalos.
- b) otro depósito, ubicado en la zona urbana y provisto de fuertes cerraduras, candados y ventanas enrejadas, es poco vulnerable pero de alto riesgo, debido a la presencia de delincuentes en la región.

Es de suma importancia conocer la vulnerabilidad de un acuífero y cómo es afectado por factores externos en una determinada región, es un asunto apremiante para los Estados y organizaciones relacionadas con el ambiente, por lo que se han identificado cuatro grupos de métodos para evaluar la vulnerabilidad (NRC, 1993):

- **Modelos basados en índices sintéticos de información espacial**, combinan mapas de elementos ambientales que influyen en el transporte de agua y contaminantes. Cada elemento tiene un intervalo de valores posibles de vulnerabilidad del agua subterránea.
- **Modelos de simulación basados en procesos**: Se aplican a escala de detalle con el fin de predecir el transporte de contaminantes (como pesticidas y nitratos) tanto en el tiempo como en el espacio; simulan los procesos físicos del movimiento del agua y se asocian al destino y transporte de contaminantes. Por ser modelos más complejos y por los datos requeridos como son: parámetros del pesticida (coeficiente de distribución, solubilidad acuosa, constante de Henry y vida media); parámetros edáficos (coeficiente de dispersión, contenido de agua saturada, capacidad de campo, propiedades hidráulicas, densidad aparente, carbono orgánico y pH); parámetros del cultivo (distribución de la densidad de raíces, profundidad máxima de raíces, tasa de consumo de pesticida); parámetros climáticos (tasa de recarga o irrigación, evaporación, temperatura diaria máxima y mínima, horas de sol) y parámetros de manejo (temporada de aplicación de pesticidas, métodos y formulaciones, producción de cultivos, variables de manejo de suelo) no son ampliamente usados a nivel regional..
- **Modelos estadísticos**: incluyen la descripción estadística de las concentraciones de un contaminante y el análisis de regresión para incorporar los efectos de distintas variables predictoras. El objetivo es describir en términos matemáticos (función o modelo) una relación entre la calidad del agua y las características naturales o antrópicas en un área específica a través del uso de variables independientes.

- **Métodos híbridos**, se definen como métodos que combinan modelos basados en índices, estadísticos y procesos (Antonakos y Lambrakis, 2006).

Las propiedades del medio varían de un punto a otro, lo que unas áreas sean más susceptibles que otras, por ello existen zonas de mayor o menor sensibilidad.

Tomando esto en cuenta, es posible determinar la vulnerabilidad hidrogeológica, en este caso, del acuífero del municipio Guacara, a través del método DRASTIC, el cual pertenece al modelo basado en índices sintéticos de información espacial.

2.2.2 Método DRASTIC

El método DRASTIC, fue desarrollado por Aller et al. (1987) y patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos en 10 de sus condados. Dicho método, considera la hipótesis de que el contaminante se introduce desde la superficie del suelo y que tiene la misma movilidad que el agua. Se basa en el análisis de siete parámetros hidrogeológicos, cuyas iniciales en inglés, constituyen el acrónimo que da nombre al método, tal como se presenta en la tabla 1:

Tabla 1. Parámetros del Método DRASTIC.

Parámetro		Variable	Factor de Ponderación (w)
D	Depht	Profundidad de agua	5
R	Recharge	Recarga neta	4
A	Aquifers	Naturaleza del acuífero	3
S	Soil	Tipo de suelo	2
T	Topography	Topografía	1
I	Impact	Impacto de zona vadosa	5
C	Hydraulic conductivity	Conductividad hidráulica	3

Fuente: Aller et al (1987).

Además del factor de ponderación del 1 al 5 (w), cada parámetro a su vez esta subdividido en un factor de calificación subdividido en una serie de intervalos, a los cuales se les asigna una puntuación que varía entre 1 y 10 (r), siendo el valor 10 el de máxima vulnerabilidad. La puntuación correspondiente se suma con el factor de ponderación para obtener una valoración final, según se indica en la siguiente expresión:

$$Dr * Dw + Rr * Rw + Ar * Aw + Sr * Sw + Tr * Tw + Ir * Iw + Cr * Cw = \text{Índice de vulnerabilidad}$$

Ecuación 2.1

En donde:

r: indica factor de clasificación o valoración.

w: indica factor de ponderación.

En este sentido, a continuación se especifican cada una de los parámetros y sus respectivos factores de calificación o valor. Para la variable profundidad de agua (D), se presenta su valor en la tabla 2:

Tabla 2. Factor de calificación para la variable profundidad de agua (D).

Variable (D)		
Profundidad (m)		Valor asignado
0.0	1.5	10
1.5	9.0	9
9.0	15.0	7
15	23	5
23	30	3
>30		1

Fuente: Aller et al (1987).

Por su parte, el factor de calificación para la variable recarga neta (R), se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Factor de calificación para la variable recarga neta (R).

Variable (R)		
Recarga (mm)		Valor asignado
0	50	1
50	103	3
103	178	6
178	254	8
>254		9

Fuente: Aller et al (1987).

Asimismo, el factor de calificación para la variable naturaleza del acuífero (A), se presenta en la tabla 4:

Tabla 4. Factor de calificación para la variable naturaleza del acuífero (A).

Variable (A)		
Litología del acuífero	Valor Ar	Valor típico Ar
Lutita masiva	1 - 3	2
Metamórfica/Ígnea	2 - 5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 - 5	4
Till Glacial	4 - 6	5
Secuencia de arenisca, caliza y lutita	5 - 9	6
Arenisca masiva	4 - 9	6
Caliza masiva	4 - 9	6
Arena o grava	4 - 9	8
Basaltos	2 - 10	9
Caliza kárstica	9 - 10	10

Fuente: Aller et al (1987).

El factor de calificación para la variable tipo de suelo (S), se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Factor de calificación para la variable tipo de suelo (S).

Variable (S)	
Tipo de suelo	Valoración Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol - cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Fuente: Aller et al (1987).

De igual modo, el factor de calificación para la variable impacto de zona vadosa (I), se muestra en la tabla 6:

Tabla 6. Factor de calificación para la variable topografía (T).

Variable (T)	
Pendiente (%)	Valoración Tr
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

Fuente: Aller et al (1987).

En la tabla 7, se presenta el factor de calificación para la variable impacto de zona vadosa (I) y en la tabla 8, el de la variable conductividad hidráulica (C):

Tabla 7. Factor de calificación para la variable impacto de zona vadosa (I).

Variable (I)		
Naturaleza de la zona no saturada	Valor Ir	Valor típico Ir
Capa confinante	1	1
Cieno - arcilla	2 - 6	3
Lutita	2 - 5	3
Caliza	2 - 7	6
Arenisca	4 - 8	6
Secuencia de arenisca, caliza y lutita	4 - 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 - 8	6
Metamórfica/Ígnea	2 - 8	4
Grava y arena	6 - 9	8
Basalto	2 - 10	9
Caliza kárstica	8 - 10	10

Fuente: Aller et al (1987).

Tabla 8.

Factor de calificación para la variable conductividad hidráulica (C).

Variable (C)				
m/día		cm/s		Valoración Cr
0,04	4,08	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08	12,22	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22	28,55	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55	40,75	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75	81,49	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49		> $9,5 \cdot 10^{-2}$		10

Fuente: Aller et al (1987).

De acuerdo con Aller et al (1987), las variables más importantes son la profundidad del nivel de agua, el tipo de suelo y el impacto de la zona no saturada.

También, señala que los factores de ponderación cambian cuando se trata de actividades agrícolas, en especial, los pesticidas. Estas diferencias se deben a que éstos resultan menos volátiles y más persistentes en el ambiente.

Cabe destacar que en el método DRASTIC se aplican clases, niveles o grados de vulnerabilidad expresados en posibles rangos comprendidos entre 23 y 230, siendo los más frecuentes comprendidos entre 50 y 200. Los intervalos de vulnerabilidad se definen en función de la aplicación y se pueden clasificar según las categorías que se presentan en la tabla 9:

Tabla 9. Clasificación de la vulnerabilidad en siete diferentes categorías en función del valor del índice DRASTIC.

Vulnerabilidad General		Vulnerabilidad a Pesticidas	
Grado	Índice	Grado	Índice
Muy Alto	187 a 230	Muy Alto	215 a 260
Alto	146 a 187	Alto	168 a 214
Moderado	105 a 146	Moderado	121 a 167
Bajo	64 a 105	Bajo	74 a 120
Muy Bajo	23 a 64	Muy Bajo	26 a 73

Fuente: Aller et al (1987).

2.2.3 Mapas de Vulnerabilidad

Otro aspecto importante de destacar es que la aplicación del método DRASTIC conduce a elaborar mapas de vulnerabilidad a la contaminación y uno de los criterios básicos utilizados para realizar dicho mapa es el diferente comportamiento hidrogeológico de los materiales presentes en la superficie, la información histórica, los años de mayor vulnerabilidad, la tendencia histórica y las zonas más críticas en el territorio objeto de estudio.

El primer aporte a la denominación "mapa de vulnerabilidad" se realizó en Francia por Albinet (1970) a escala 1:1.000.000, basado en criterios de composición litológica de rocas y depósitos, definió seis categorías primarias y nueve secundarias de acuerdo con el riesgo potencial creciente de contaminación.

Tenía un carácter orientativo previsor, a escala nacional, de localización de las regiones más sensibles del país al riesgo potencial de contaminación derivado de acciones humanas.

En este sentido, Auge (2001) propone algunos tipos de mapas de acuerdo a la magnitud de la zona objeto de estudio, tal como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10. Mapas a adoptar en función de la magnitud de la zona objeto de estudio.

Mapa			
Detalle	Semi-detalle	Semi-regional	Regional
Escala mayor de 1:25.000	Escala de 1:25.000 a 1:100.000	Escala de 1:100.000 a 1:500.00	Escala menor de 1:500.000

Fuente: Auge (2001).

A continuación se explican de manera breve, cada uno de los mapas arriba mencionados:

- **Los mapas de detalle:** se utilizan para la evaluación de ambientes específicos como: zonas urbanas, regiones cultivadas y de cría de ganado, plantas industriales, entre otros. Generalmente, a extensión estudiada abarca desde algunos cientos de hectáreas, a cientos de km².
- **Los mapas de semi-detalle:** se emplean para el estudio de cuencas hidrogeológicas, o unidades acuíferas individuales, cuando la extensión de las mismas no sobrepasa unos pocos miles de km².
- **Los mapas semi-regionales:** se utilizan para evaluar la vulnerabilidad a nivel de ambiente, provincia o toda región que presente características o

comportamientos distintivos en relación a sus aguas subterráneas. El término distintivo implica la manifestación reiterada y fácilmente detectable de alguna característica peculiar, por lo tanto, no siempre involucra un comportamiento homogéneo. Los factores que ejercen mayor influencia en el comportamiento hidrológico subterráneo son: el geológico, el morfológico, el climático y el biológico.

- **Los mapas regionales:** se emplean a nivel de reconocimiento, abarcan varias provincias, estados, dentro del país, todo el país o entre varios países, en extensiones que van desde centenas de miles, a millones de km². Los mismos tienen por objeto brindar un panorama general sobre la vulnerabilidad del agua subterránea, y se aplican para el control y manejo de acuíferos compartidos interprovinciales, interestatales y transfronterizos. Auge (2001).

Para complementar la información sobre los mapas de vulnerabilidad, a éstos se les denomina semáforo, dado que la mayoría de los investigadores emplean colores en los grados de vulnerabilidad para lograr una mejor visualización. En consecuencia, el mapa queda expresados en código de colores, donde: el color rojo indica mayor vulnerabilidad a la contaminación; verde ausencia o muy bajo grado de riesgo y amarillo unas circunstancias intermedias entre ambas situaciones extremas.

La finalidad última de los mapas de vulnerabilidad es la división del territorio en áreas de diferente aptitud potencial para un propósito específico, lo que permite de una manera directa hacer gestión y control del territorio enmarcado en políticas restrictivas de las cargas contaminantes y planteamiento de alternativas limpias de su manejo, con miras a la protección de la calidad de los acuíferos, mejorando de ésta manera los recursos humanos, técnicos y económicos. A continuación se presenta la figura 1 con un ejemplo de mapa de vulnerabilidad a la contaminación, con su leyenda a colores.

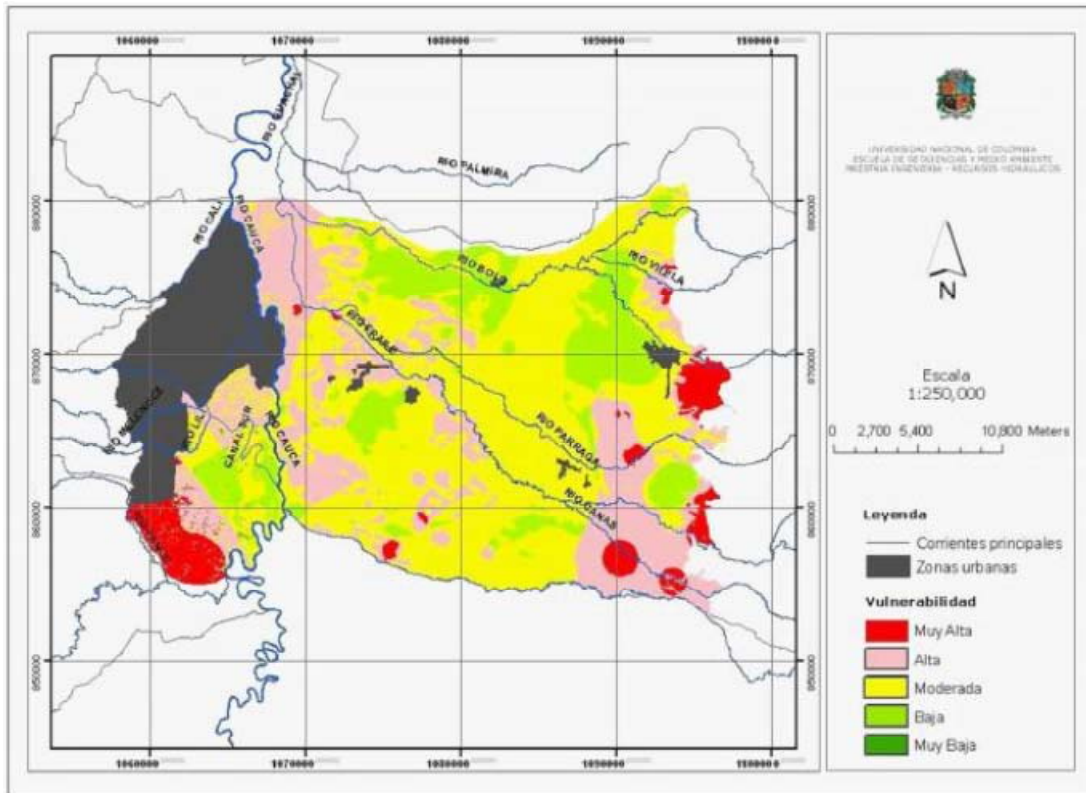


Figura 1. Ejemplo de mapa de vulnerabilidad a la contaminación con leyenda a colores. Ríos y Vélez (2008).

2.2.4 Los Acuíferos

El término acuífero proviene del latín *aqua* que significa "agua", y el sufijo *fero* que significa "que lleva", es decir, llevar agua. Gil (2012) define éste término como: "el estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas geológicas de modo tal que el hombre puede aprovecharlas en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades". Este concepto es muy arraigado en la comunidad científico-técnica hidrogeológica, ya que introduce un componente económico que confiere un carácter relativo al significado del acuífero.

Cabe destacar que el agua almacenada en el acuífero es proveniente de las precipitaciones, aunque puede recibirlas de otras vías, que percolan desde de la superficie de la tierra, según Auge (2004) a través de tres zonas:

- **La zona de recarga o alimentación**, es aquella donde el agua de precipitación se infiltra. Pero estas zonas son más permeables a la contaminación, por eso es tan importante localizar con exactitud y resguardarlas.
- **La zona de descarga**, es la zona donde el agua sale del acuífero, como puede ser un manantial, la descarga al mar o a un río.
- **La zona de circulación**, es la parte comprendida entre la zona de alimentación y la zona de descarga.

Asimismo, para que el agua se infiltre en el subsuelo es condición indispensable que las rocas sean permeables. Dentro de estas rocas el agua infiltrada alcanza grandes profundidades, dependiendo de su espesor y su estructura y textura, pueden quedar retenidas, lateralmente y en profundidad. En el caso contrario, cuando las rocas son impermeables impiden la infiltración a otros niveles más profundos o la circulación lateral dentro de los acuíferos.

Además, estos recursos hídricos se encuentran ubicados a diferentes niveles de profundidad, pueden ser desde muy someros (poco profundos) o alcanzar profundidades de hasta tres kilómetros (Km). Por ello, el Instituto Geológico Minero de España (2014) clasifica estos acuíferos de acuerdo a su litología o tipo de hueco en:

- **Acuíferos detríticos:** están conformados por formaciones geológicas de carácter detríticos, cuyo componente mayoritario son partículas de tamaño como mínimo arenas. De esta forma, cuando se habla de acuíferos detríticos no consolidados se está haciendo referencia a depósitos sedimentarios dominados por arenas, gravas, arcosas, areniscas, conglomerados, entre otros. Su permeabilidad se debe a sus huecos de porosidad intergranular, por lo que tienen excelentes condiciones para almacenar y transmitir el agua, aunque las velocidades de esta son, por lo general, bajas. (Ver Figura 2).

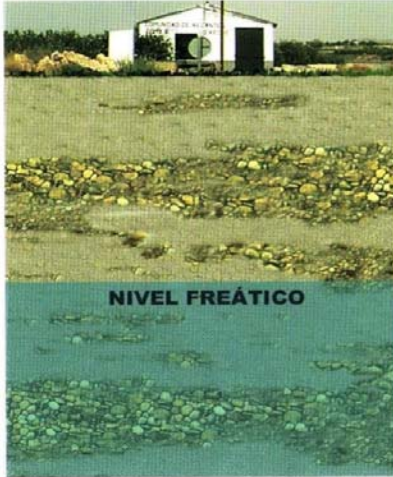


Figura 2. Acuífero Detrítico. Instituto Geológico Minero de España (2016).

- **Acuífero fisurados:** estarán constituidos por aquellas formaciones geológicas rocosas susceptibles, tales como: calizas, dolomías, areniscas, granitos y basaltos, entre otras, las cuales presentan un grado de fracturación, disolución o diaclasado, causadas por movimiento de la corteza terrestre, por lo que poseen altas o muy altas permeabilidades, permitiendo así el paso del agua. (Ver Figura 3).

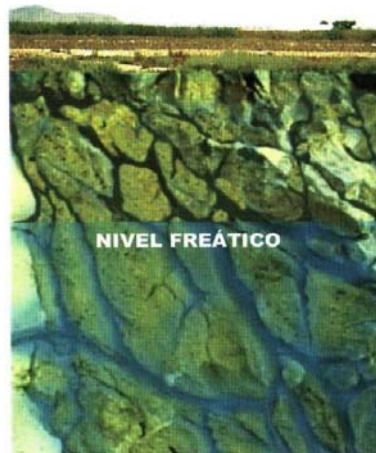


Figura 3. Acuífero Fisurado. Instituto Geológico Minero de España (2016).

- **Acuíferos kársticos:** corresponde a estructuras bien organizadas en cavidades de formaciones rocosas carbonatadas (calizas, dolomías o mármol) las cuales tienen una porosidad secundaria originada por disolución. Son de gran tamaño, provocando que cuando se saturan de agua constituyen acuíferos muy importantes. (Ver Figura 4).

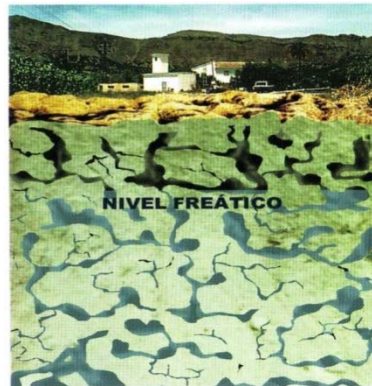


Figura 4. Acuífero Kárstico. Instituto Geológico Minero de España (2016).

Ahora bien, atendiendo al comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas, así como a su posición estructural en el terreno, Gil (Ob. Cit.) hace distinción de tres tipos de acuíferos:

- **Acuífero libre, no confinado, o freático**, es aquel en el que existe una superficie libre del agua encerrada que está en contacto directo con el aire, y por lo tanto, a presión atmosférica. Entre la superficie del terreno y el nivel freático se encuentra la zona no saturada. El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija sino que varía en función de los periodos secos o lluviosos. (Ver Figura 5).

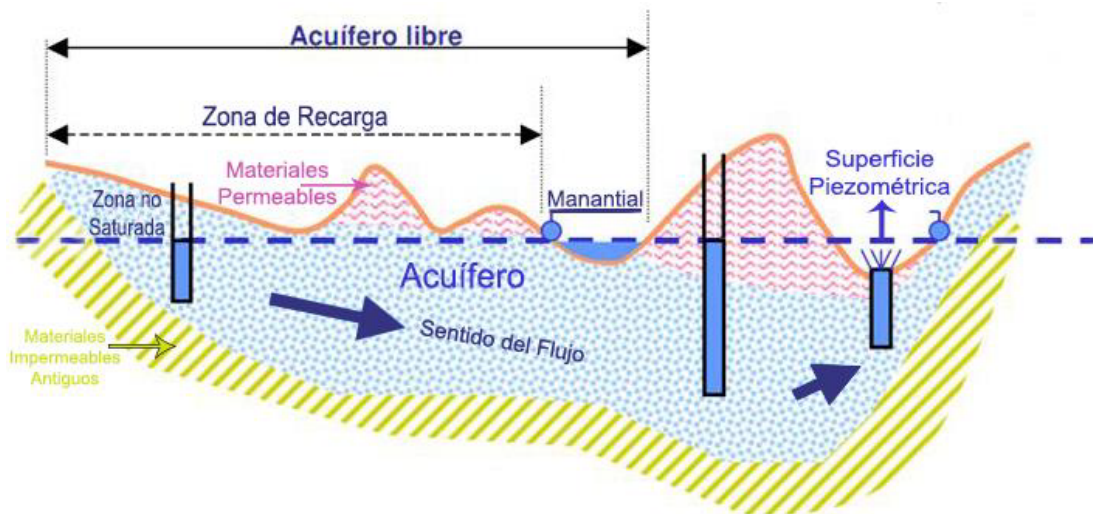


Figura 5. Acuífero Libre. Gil (2012).

- **Acuífero confinado**, cautivos, a presión o en carga, son aquellas aguas subterráneas que se acumulan en la roca permeable y están encerrados entre dos capas impermeables. Si éste es perforado, el nivel de agua ascenderá hasta situarse en una posición que coincidirá con el nivel de saturación del acuífero en la zona de recarga. El agua está sometida a una presión mayor a la atmosférica. (Ver Figura 6).



Figura 6. Acuífero Confinado. Gil (2012).

- **Acuíferos semiconfinados**, tienen características mixtas entre los dos tipos anteriores, se pueden considerar un caso particular de los acuíferos confinados, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua. Por tanto, puede recibir recarga o perder agua a través del techo o de la base. Este flujo vertical sólo es posible si existe una diferencia de potencial entre ambos niveles. (Ver Figura 7).

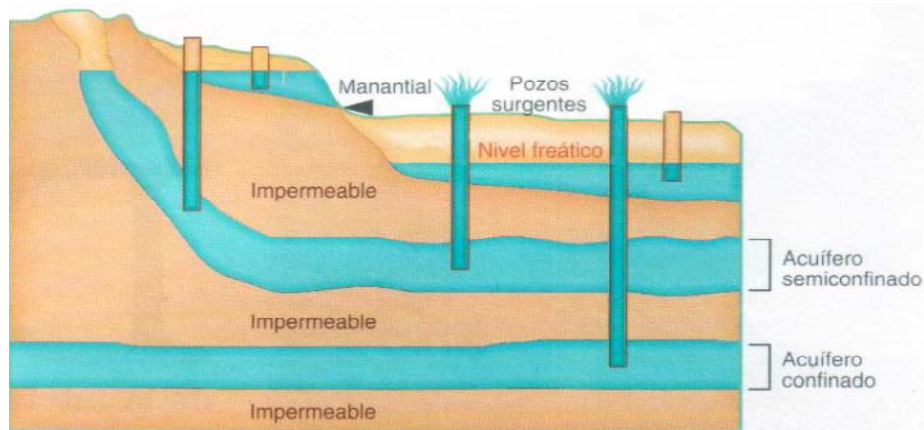


Figura 7. Acuífero Semiconfinado. Gil (2012).

Por último, Sánchez (2012) menciona los acuíferos colgados, para hacer referencia a acumulaciones de agua subterránea de escasa continuidad lateral situadas por encima del nivel freático principal. Este tipo de acuíferos corresponden, en sentido estricto, a alguno de los tres tipos de acuíferos citados anteriormente.

Sin embargo, debido a sus pequeñas dimensiones es habitual clasificarlos por separado. Los acuíferos colgados son frecuentes en formaciones geológicas detríticas (especialmente de origen aluvial y fluvial) en las que se pueden encontrar depósitos de materiales pocos permeables (limos y arcillas) inmersos en un material granular de mayor permeabilidad. Con cierta frecuencia, estos acuíferos son los responsables de la alimentación de pequeños manantiales, los cuales, suelen presentar fuertes variaciones estacionales de caudal. (Ver figura 8).

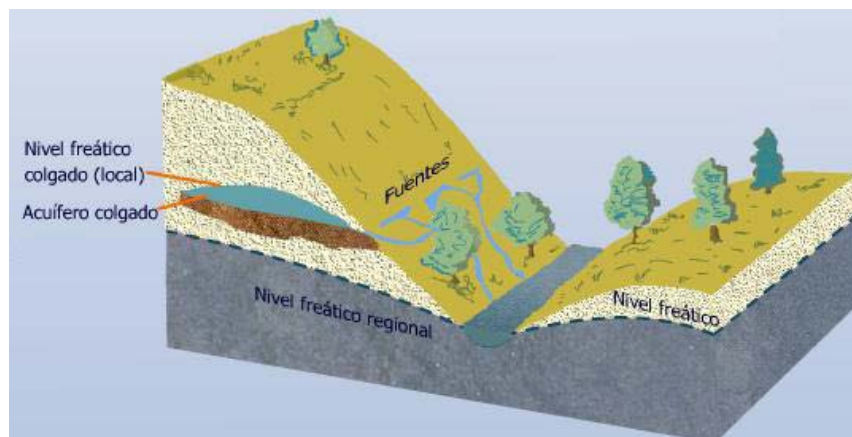


Figura 8. Acuífero Colgado. Sánchez (2012).

2.2.4.1 Parámetros de los Acuíferos

Considerando que los acuíferos como sistemas poseen un cierto funcionamiento, regulado por la recarga y las extracciones, hace que tengan características o parámetros que permiten definir tal funcionamiento frente a determinadas acciones exteriores. Estos parámetros según Obando (2010) son:

- **Porosidad:** es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca. Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la constitución de la roca o suelo, es decir de su textura característica, sin que intervenga la forma geométrica ni la potencia de la formación o su mecanismo de funcionamiento hidráulico en la naturaleza.
- **Permeabilidad:** este parámetro permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de la misma, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. Dentro de este concepto pueden definirse otros dos:
 - ❖ *Permeabilidad efectiva o conductividad hidráulica*, ligada tanto a las características texturales del medio físico como del fluido que transmite. Es representada por el coeficiente de permeabilidad, k .
 - ❖ *Permeabilidad intrínseca*, que es sólo dependiente de las características internas del medio permeable.
- **Transmisividad específica:** es el parámetro definido para evaluar la capacidad de transmitir agua de los acuíferos, teniendo en cuenta no sólo la textura del acuífero y las características del fluido, sino también las características estructurales o geométricas. Se define como el producto de la conductividad hidráulica (k) y el espesor del acuífero (b): $T = kb$.
- **Acuíferos muy permeables pero de bajo espesor pueden**, a pesar de sus excelentes características texturales, no son aptos para una eficaz transmisión del agua debido a su bajo espesor, y en consecuencia, baja transmisividad.
- **Coefficiente de almacenamiento:** representa la capacidad para liberar agua de un acuífero. Se define como el volumen de agua que es capaz de liberar un

prisma de base unitaria y de altura la del acuífero, cuando desciende 1 m el nivel piezométrico. En consecuencia, un parámetro físico referido al volumen cedido por unidad de volumen de acuífero, y al igual que la porosidad, es adimensional.

Como se aprecia, las propiedades de los acuíferos para almacenar, transmitir y circular agua, están gobernadas por varios factores, los cuales permiten evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro de agotarlo.

2.2.5 Sistema de Información Geográfica

En materia de mapas de vulnerabilidad se trabaja con variables no coincidentes que se expresan como unidades espaciales analíticas, por lo que la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se hace prácticamente indispensable. Al respecto, Mena y Montes (2010) plantean que el SIG es:

- Un conjunto informatizado de datos, que representa la realidad posibilitando la modelización de eventos a futuro, es decir; un conjunto de datos referenciados a puntos territoriales o espaciales que permiten la obtención de información indispensable para todo tipo de planificación y evaluación de gestión. (p. 05).

El SIG es un sistema de gestión de bases de datos georreferenciadas que permite el manejo de un gran volumen de información espacial, sin perder sus características iniciales al superponer las distintas capas de información que corresponden a un aspecto particular del espacio, por ejemplo: usos del suelo, predios, edificaciones, entre otras, y están georreferenciadas en un mismo sistema de coordenadas, lo que permite su visualización y tratamiento en forma conjunta.

Esta manera de organizar los datos geográficos suministra al usuario de un SIG, seleccionar sólo la información del espacio geográfico que le interesa y trabajar con ella, prescindiendo del resto de los datos del modelo, para agilizar la obtención de los resultados. Además, las capas de información pueden ser representaciones puntuales,

lineales o superficiales de los elementos de la realidad (como el caso de los mapas tradicionales) o bien, otro tipo de representaciones como las fotografías aéreas, las imágenes satelitales y los modelos digitales de elevación. (Ver Figura 9).

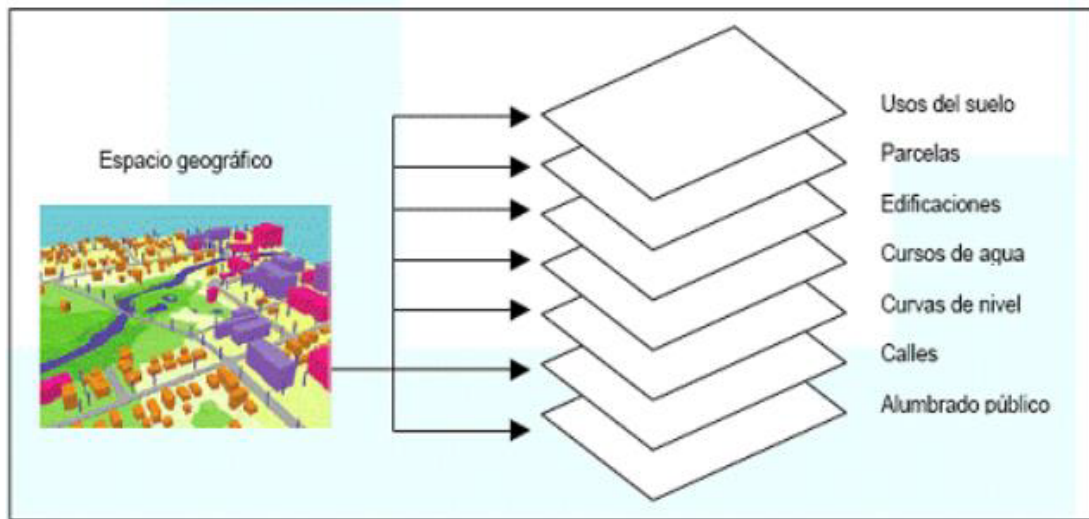


Figura 9. Organización en Capas con SIG. ArcGIS (2014).

En la actualidad, existen diversas herramientas computacionales que contribuyen en la realización de estudios sobre el manejo integrado de los recursos naturales; entre estas herramientas destacan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten analizar la variabilidad espacial y temporal de los diferentes datos que conforman la información necesaria para llevar a cabo estudios de esta naturaleza.

En el caso concreto de los estudios hidrogeológicos, el uso del SIG es bastante reciente, y su empleo se ha impuesto a medida que se han conocido sus ventajas. Un SIG permite el almacenamiento, manejo, procesamiento y análisis de los diferentes tipos de datos que se utilizan en estos estudios hidrogeológicos, además facilita la elaboración de mapas temáticos para cada uno de los atributos que se definan en la base de datos; así como el análisis y procesamiento de los datos de entrada y salida de modelos matemáticos de simulación (Gogu et al., 2001; Barazzuoli et al., 1999).

Una de las aplicaciones más extendidas es su utilización como herramienta para la elaboración de mapas de vulnerabilidad de acuíferos utilizando para ello, sobre todo, el método DRASTIC (Aller et al, 1987; Fritch et al., 2000 a,b; Franco, 2002).

Generalmente, de estos parámetros sólo se disponen de valores puntuales por lo que para la obtención de valores en toda la región de interés es necesario el uso de los métodos de interpolación. Un SIG dispone de varios métodos de interpolación que pueden ser utilizados para la elaboración de mapas temáticos, evitando así problemas de importación / exportación de datos entre sistemas o paquetes informáticos (software) diferentes.

Por otra parte, la estructura de los datos espaciales en capas, correspondiendo a varios temas, y la sobreposición y manipulación de estas coberturas con operadores lógicos y algebraicos facilitan la generación de mapas que combinan varios de estos temas, lo cual agiliza la elaboración de mapas de vulnerabilidad de acuíferos; así como la formulación y combinación de posibles escenarios de vulnerabilidad.

2.2.6 Bases Legales

El Estado venezolano, a través de sus leyes orgánicas, decretos, reglamentos y demás disposiciones establecidas, dictan las medidas que se deben cumplir en lo relacionado con las aguas del país. Pero la base fundamental del ordenamiento jurídico actual está en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela sancionada en el año 1999, que declara en su artículo 304 todas las aguas como: “...del dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo...”

De forma que, suprimida la titularidad privada sobre las aguas queda derogada cualquier norma del ordenamiento jurídico contraria a esa afectación, quedando extinguido el derecho de propiedad privada que los particulares tenían sobre las aguas, conforme a las disposiciones del Código Civil. Luego, el artículo 127 consagra la obligación del Estado, con la activa participación de la sociedad, de garantizar la protección del agua, además de otros elementos de los ecosistemas.

Es importante destacar que para el caso de las personas interesadas en la construcción y perforación de pozos de aguas subterráneas, el artículo 129 de la

Constitución Bolivariana indica que: "Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural". Es decir, deben solicitar ante el Ministerio con Autoridad Nacional de las Aguas, un Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural, esto con la finalidad de minimizar los efectos, daños y alteraciones que se puedan causar a los ecosistemas.

También, la Constitución en su artículo 156, numeral 16, establece en forma exclusiva al Poder Público Nacional las competencias de: "...conservación, fomento y aprovechamiento de los bosques, suelos, aguas y otras riquezas naturales del país...", así como en su numeral 23, "las políticas nacionales y la legislación (...) en materia de ordenación del territorio".

En cuanto a las competencias de los Municipios, la Carta Magna en materias relacionadas con las aguas, asigna en el artículo 178, numeral 6 la dotación y prestación de los servicios públicos domiciliarios, en particular los: "Servicios de agua potable, alcantarillado, canalización y disposición de aguas servidas...".

Otra norma vinculada con este estudio es la Ley Orgánica del Ambiente (LOA, 2006), la cual en materia de aguas, hace referencia en su artículo 56 de la importancia de la conservación de éste recurso: "Para asegurar la sustentabilidad del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él; se deberán conservar los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos".

Asimismo, la LOA en el artículo 57 señala que el Estado debe considerar las actividades para la conservación del agua, entre ellas: hacer una clasificación de las aguas según su uso, determinar las actividades humanas capaces de degradar las aguas en sus fuentes, recorrido y represamiento, la reutilización de las aguas servidas, el tratamiento de las aguas contaminadas, la protección de las cuencas hidrográficas, y el uso adecuado de las tierras en las cuencas.

Por otro lado, la Ley Orgánica de Ordenación de Territorio (1983), establece en su artículo 5, como instrumento básico el Plan Nacional de Ordenación del Territorio (PNOT) y los planes en los cuales éste se desagrega: planes regionales de ordenación

del territorio, planes sectoriales, planes de ordenación de las áreas bajo régimen de administración especial Zonas ABRAES), planes de ordenación urbanística y demás planes de ordenación del territorio que demande el país, pero sujetos a las normas correspondientes.

Antes de que cualquier actividad pueda comenzar, se requiere tener la permisología necesaria de los entes encargados. Dicha Ley contiene una lista de las actividades que requieren autorizaciones, por ello, aquellos proyectos que tengan incidencia espacial e impliquen acciones de ocupación del territorio de importancia regional, deberán ser aprobados por los gobernadores de las entidades federales, excluyendo las zonas ABRAES, cuyas autorizaciones las aprueba el ente administrador a los efectos de los lineamientos y previsiones de los Planes de Ordenación del Territorio.

Por su parte, la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento Ambiental (LOPSAS, 2001), tiene como objeto regular la prestación de los servicios públicos de agua potable y de saneamiento, establecer el régimen de fiscalización, control y evaluación de tales servicios y promover su desarrollo, en beneficio general de los ciudadanos, de la salud pública, la preservación de los recursos hídricos y la protección del ambiente.

Seguidamente en su artículo 2 de la Ley en referencia describe, con relación a los sujetos de la ley, que sus disposiciones se aplicarán a todos los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento, sean públicos o privados, así como también a todos los suscriptores y usuarios, cuyos deberes son pagar el precio del servicio, tener conexión legal a la red, no contaminar aguas residuales o crudas, ente otros.

Destaca el instrumento legal, que el Poder Ejecutivo Nacional, Estatal y Municipal ejercerán de manera armónica y coordinada sus competencias en el desarrollo de los servicios de agua potable y saneamiento. Se especifican claramente las competencias para cada instancia de gobierno: la nacional se encarga fundamentalmente de la definición de políticas, formulación de normativas, financiamiento y fiscalización (Artículo 9); la estatal con asistencia técnica,

administrativa y financiera (Artículo 10); y la instancia municipal, con la prestación y control de los servicios de agua potable y saneamiento (Artículo 11).

Otra norma de importancia es la Ley de Aguas (2007) que estipula como derecho fundamental el acceso al agua, plantea como un deber el respeto a la unidad del ciclo hidrológico, define el agua como un bien social y designa en el artículo 16 al Ministerio con Autoridad Nacional de las Aguas como autoridad rectora que considere "...a las provincias y cuencas hidrogeológicas, como unidades espaciales para el manejo de las aguas subterráneas".

Dicho instrumento legal, atribuye al Ministerio elaborar el Plan Nacional de Gestión Integral de las Aguas (PNGIA) con el objetivo de garantizar la conservación, protección, aprovechamiento sustentable y recuperación tanto de las aguas superficiales como subterráneas. Reitera en el artículo 5, numeral 10 que: "Las aguas por ser bienes del dominio público no podrán formar parte del dominio privado de ninguna persona natural o jurídica".

En el artículo 80 prevé la solicitud de una licencia para los interesados en los aprovechamientos hídricos, el cual cita: "Los usos de aguas en sus fuentes superficiales y subterráneas, con fines de abastecimiento a poblaciones, agrícolas y recreacionales sin fines de lucro, están sujetos a la obtención de una licencia de aprovechamiento de aguas".

En los artículos 75, 76 y 77 de la Ley en referencia indica los contratos administrativos, por los cuales se confiere a un particular el derecho a usar y disponer por un tiempo limitado, de aguas para generación hidroeléctrica, actividades industriales y comerciales. Los interesados deben presentar su solicitud con los recaudos exigidos ante las Direcciones Estadales Ambientales, de acuerdo a la jurisdicción territorial y localización del sitio de captación del recurso a utilizar.

Igualmente, la Ley de Agua en su artículo 84 con el propósito de sistematizar el manejo de datos e información de los distintos usos de las aguas continentales superficiales y subterráneas, marinas e insulares en el territorio, deberán inscribirse en el Registro Nacional de Usuarios y Usuarías de las Fuentes de las Aguas (RENUFA),

todas aquellas personas naturales o jurídicas que hagan uso del agua o pretendan realizar aprovechamientos de aguas directamente en la fuente. La inscripción es de carácter obligatorio para todos los usos sujetos a la tramitación de concesiones, asignaciones y licencias.

Asimismo, cabe destacar que en el año 2003 se crea Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), cuya función es integrar los diferentes servicios de meteorología e hidrología del país, modernizar la recolección de datos, así como generar información regional y nacional. Sin embargo, en el 2006 se aprobó la Ley de Meteorología e Hidrología Nacional, la cual regula las actividades del INAMEH, a fin de complementar el registro de información hidrogeológica e ir actualizando la base de datos de las aguas subterráneas en el país.

La Ley del INAMEH propone que le suministren información de las nuevas obras de captaciones de aguas subterráneas, para ir incorporándola al banco de datos del instituto. En este sentido, este trabajo actúa con dicho propósito, pues sirve de divulgación hidrogeológica y ofrecerla tanto al INAMEH como a otras instituciones.

A los instrumentos jurídicos anteriores se agrega la Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2010), la cual plantea en los artículos 24 y 25 que el Instituto Nacional de Tierras (INTI) debe llevar un censo de las aguas de uso agrario, ya sean destinadas para riego, doméstico, actividades de acuicultura o agroindustrial, así como llevar un Registro Agrario de tierras y aguas, esto con la participación activa de los Consejos Comunales a fin de realizar un levantamiento de información para el control y actualización de datos del Registro. En el artículo 31 esta Ley señala que los propietarios u ocupantes de las tierras con vocación de uso agrario, deben inscribirse ante las oficinas de registro de tierras del INTI, el cual les expedirá la certificación.

En este punto es importante destacar la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009), en la cual se establecen los objetivos, lineamientos y formas de implementación de políticas de gestión de riesgos, entre los órganos, los entes del Estado y los particulares, según el artículo 2 a fines de: "ejecutar acciones de manera consciente, concertada y planificada, para prevenir o

evitar, mitigar o reducir el riesgo en una localidad o en una región, atendiendo a sus realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales y económicas". También, exhorta a los entes responsables a emprender acciones para caracterizar y disminuir los niveles de vulnerabilidad en los distintos ámbitos territoriales. En el artículo 6, señala entre las obligaciones del Estado:

- Garantizar que las acciones propias de la ordenación del territorio y de la planificación del desarrollo a todos los niveles de gestión, eviten potenciar o incrementar las condiciones de vulnerabilidad o de amenazas en el país.
- Propiciar la ejecución de acciones orientadas a la reducción de la vulnerabilidad existente. (...)

Por otra parte, la Ley Penal del Ambiente (2012) señala que los recursos naturales son bienes jurídicos protegidos, así que establece que la responsabilidad penal derivada de la comisión de delitos ambientales, será de carácter objetivo, por lo que bastará con comprobar la violación de la norma para aplicar la sanción, la misma Ley manifiesta que no será necesario demostrar la culpabilidad del causante del daño.

Dicha Ley mantiene el castigo para hechos atentatorios contra el ambiente, tales como: la pena de privación de libertad o la multa como sanción administrativa, indicando en forma general el castigo ante la violación de sus disposiciones. Califica como delitos, las acciones capaces de causar daños, alteración o degradación a los suelos, topografía, paisaje, destrucción, la vegetación, las aguas, la fauna o sus hábitats, delitos contra la ordenación del territorio, omisiones en las evaluaciones ambientales y planes de manejo.

En el mismo orden de ideas, el Decreto 1.257 sobre las Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (1996), establece la presentación de Estudios de Impacto Ambiental para determinadas actividades (artículo 6); poseer Autorización de Ocupación del Territorio (artículo 12); y Autorización de Afectación de Recursos Naturales (Artículo 13).

El Decreto N° 1.400 sobre las Normas sobre la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas (1996), estipula en su artículo 2 que la conservación y racional aprovechamiento de los recursos hídricos comprende todas aquellas acciones destinadas a compatibilizar la oferta de los recursos hídricos con las demandas actuales, sin comprometer la posibilidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Asimismo, el Decreto 883 sobre las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (1995), define en su artículo 2 la contaminación de las aguas y la calidad de un cuerpo de agua; en el artículo 3 se hace una clasificación, siendo la Clase 1 las aguas destinadas al uso doméstico e industrial, contienen parámetros de contaminación con mayores restricciones porque son destinadas al consumo directo de la población, como el agua potable, incorporada a productos alimenticios de consumo masivo.

También, en el caso de las aguas para consumo humano se hace una evaluación en función de lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (1998), la cual prevé en sus artículos 2 y 4, que el agua potable debe cumplir con requisitos parámetros microbiológicos, organolépticos, químicos, físicos y radiactivos. Tales parámetros, deben ser satisfechos, mediante los tratamientos pertinentes, por los entes responsables del suministro de agua potable, sean públicos o privados, y para ello, deben realizarse mediciones y análisis sistemáticos frecuentes por parte de profesionales competentes en el área.

De igual modo, la Norma Sanitaria obliga a los entes del Estado o a los concesionarios de aguas a realizar estudios periódicos para determinar la calidad de agua de consumo humano, y en caso de estar fuera de los parámetros fijados para considerarlas potables, es necesario y obligante realizar los tratamientos adecuados para eliminar su contaminación y hacerlas aptas para consumo.

Es importante también considerar el Decreto 2.048 sobre Normas para la Ubicación, Construcción, Protección, Operación y Mantenimiento de Pozos Perforados destinados al Abastecimiento de Agua Potable (1997), la cual señala en el

artículo 4 que los interesados en perforar pozos deben solicitar una autorización ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. El artículo 13 dispone a los responsables del pozo perforado realizar periódicamente exámenes bacteriológicos y análisis físico-químicos, así como llevar permanentemente una Hoja para Registro de la operación, funcionamiento y mantenimiento del pozo (artículo 15).

Igualmente, la Norma COVENIN 589-79 Código de Práctica para la Construcción de Pozos de Agua individuales, para proyectos de envergadura o especiales, en los cuales se pueden exigir requisitos adicionales. Además, este Código contiene las consideraciones de diseños, planos, construcción, perforación, materiales y equipos para bombeos, formatos de presupuesto y símbolos geotécnicos

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen los métodos, técnicas, estrategias y procedimientos utilizados para recolectar en forma confiable la información requerida para realizar el análisis de vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara, Estado Carabobo.

3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo al problema planteado y a los objetivos a alcanzar, la investigación se considera de tipo descriptiva, orientada a analizar el comportamiento de la variable objeto de estudio, la vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara. Según Rosa Rojas (1997), este tipo de investigación persigue los siguientes objetivos: “describir, registrar, analizar e interpretar la naturaleza actual, la composición o los procesos de los fenómenos, para presentar una interpretación correcta”

3.2 Diseño de la Investigación

El diseño que se empleará en esta investigación es de campo, ya que los datos cualitativos y cuantitativos hidrogeológicos de los acuíferos se recolectarán en su contexto natural. Según Arias (2006) una investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna”.

3.3 Población y Muestra

Según Tamayo y Tamayo (2002) la población se define como la “Totalidad de un fenómeno de estudio incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integra dicho fenómeno y que debe cuantificarse para determinar un

estudio”. En virtud de ello, la población estará conformada por el volumen de agua contenido en el acuífero ubicado en el municipio Guacara, durante el lapso de mi investigación. En cuanto a la muestra, Tamayo y Tamayo (2002), afirma que la muestra “es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico”.

Pero en éste estudio la población no está conformada por personas, sino por un conjunto de 14 pozos y sus características geofísicas que se medirán de ellos.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Arias (2006) refiere que la técnica es: "el procedimiento o forma particular de obtener datos o información, las cuales son particular y específicos de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científicos, el cual posee una aplicabilidad general". Es decir, la aplicación de una técnica, conduce a la obtención de información, ya que es recolectada en un medio material de manera que los datos puedan ser procesados, analizados e interpretados posteriormente.

De tal manera, una de las técnicas que se utilizará aquí es la revisión documental, que consiste en buscar información bibliográfica o documentos electrónicos en general para sustentar y orientar el fenómeno objeto de estudio. Dicha técnica según Hurtado (2008): "en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido productos de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismo constituyen los eventos de estudio".

También, se empleará la técnica de observación directa, la cual según Palella Martins (2010): consiste en el estudio de la situación problemática en el momento mismo de su ocurrencia, mediante el uso de sus sentidos, el resultado de estas observaciones el investigador deberá someterlos a su interpretación y análisis para poder formular el problema planteado".

En este sentido, el instrumento que empleará el investigador para anotar las observaciones será una Planilla de Registro, en la cual registrará las características de los pozos y los parámetros de vulnerabilidad del acuífero de Guacara.

De igual modo, a fin de recolectar datos y describir los parámetros de vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara del Estado Carabobo se aplicará el método DRASTIC, considerando que podrían estar siendo contaminados por las actividades económicas presentes en el municipio, y cuyo grado de protección depende de la vulnerabilidad del medio al que se encuentre sometido el acuífero.

3.5 Análisis de los Datos

El análisis de datos corresponde con las explicaciones de los resultados obtenidos una vez aplicadas las anteriores técnicas, las cuales requieren de su organización e interpretación para una discusión final. Hernández (2008) refiere que:

La finalidad de análisis de datos es describir las variables y explicar sus cambios y movimientos y las características que lo componen son la sistematización, utilización intensiva de las estadística (descriptiva e inferencial), basado en variables, impersonal, posterior a la recolección de datos.

Por lo tanto, para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información obtenida del método DRASTIC, se utilizará el software Sistema de Información Geográfica (SIG), para luego realizar mapas de vulnerabilidad, y de esta manera obtener una mejor visualización de los siete parámetros o factores, así como de las actividades económicas que podrían estar ocasionando contaminación a los acuíferos ubicados en el municipio Guacara.

3.6 Procedimientos de la Investigación

El presente trabajo de investigación se desarrollará atendiendo una serie de aspectos básicos, así como un ordenamiento y secuencia lógica con base a los objetivos específicos aquí planteados:

- Identificar la ubicación geográfica y propiedades geofísicas de los pozos subterráneos en el Municipio Guacara:

Se realizará la búsqueda de toda la información disponible para lograr la recolección adecuada de los datos necesarios que permitirán la ubicación e

identificación de las propiedades geofísicas de los pozos ubicados en el Municipio Guacara. Ésta información fue proporcionada por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA), la Alcaldía de Guacara (IMAGUA) y Hidrocentro, éstas instituciones facilitaron la data de los pozos bajo su administración y otros de uso privado. Seguido de esto se llevó a cabo un trabajo de campo, para confirmar dichas ubicaciones, y la búsqueda de los pozos, cuya información no se encontraba registrada aún en el Ministerio. Se realizará una selección de los pozos que cuenten con registros litológicos, para crear un mapa de ubicación geográfica de éstos con la utilización del programa ArcGIS 10.0 en el municipio. Se identificará cada pozo con sus coordenadas y código asignado. Por último se detallará el perfil litológico de cada uno de los pozos seleccionados.

➤ Describir composición geofísica en pozos del Municipio Guacara:

Se describirá detalladamente la composición geofísica de todos los pozos en estudio del municipio Guacara. Con la ayuda del programa ArcGIS 10.0 se realizarán mapas de Elevación de terreno, Pendiente de terreno, Porosidad Efectiva, Permeabilidad, Transmisividad y Espesor Saturado del acuífero del municipio.

➤ Aplicar métodos para estimar la vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara:

Con información recabada en campo y procesada mediante el programa ArcGIS 10.0, se elaborarán los diferentes mapas de factores del método DRASTIC. El mapa de Factor D (Profundidad del agua) se realizará con el factor de calificación de la Tabla 2. El de Factor R (Recarga Neta) con la Tabla 3. Cabe destacar que para poder realizar los mapas mensuales del Factor R (Recarga Neta) se debe realizar una resta de los mapas de Precipitación y Evapotranspiración para cada uno de los meses de los años 2015, 2016 y hasta Junio de 2017. Los mapas de Precipitación y Evapotranspiración se

encuentran en los Anexos A y B respectivamente. El de Factor A (Naturaleza del Acuífero) con la Tabla 4. El de Factor S (Tipo de Suelo) con la Tabla 5. El de Factor T (Topografía) con la Tabla 6. El de Factor I (Impacto de Zona Vadosa) con la Tabla 7. Y finalmente el de Factor C (Conductividad Hidráulica) con el factor de calificación de la tabla 8.

- Elaborar mapas de vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara:
En éste objetivo se elaborarán mapas de vulnerabilidad para plasmar gráfica y mensualmente los distintos grados de vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara. Con ayuda del programa ArcGIS 10.0, la Ecuación 2.1, la Tabla 1 y la Tabla 9, se obtendrán mapas para cada mes de los años 2015 y 2016, y hasta Junio del año 2017.

Tabla 11. Cronograma de Actividades

Actividades	AÑO																													
	2016												2017												2018					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Realización de Capítulo I	■																													
Elaboración del Capítulo II		■																												
Realización de Capítulo III			■	■																										
Selección y aprobación del tema a investigar					■	■																								
Reuniones con instituciones involucradas						■	■	■	■	■																				
Recolección de datos								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Realización de base de datos														■	■	■	■	■	■											
Visitas a campo																			■	■	■									
Revisión y aprobación del Proyecto de Investigación																						■	■	■						
Organización y análisis de estadísticas																										■	■	■	■	

(Continuación de Tabla 12...)

Actividades	AÑO																													
	2016												2017												2018					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Revisión y aprobación del Trabajo de Maestría																														
Defensa del Trabajo de Maestría																														
Entrega definitiva del Trabajo de Maestría																														

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El propósito de la discusión de resultados es analizar los parámetros obtenidos para conocer el grado de vulnerabilidad que presenta actualmente el acuífero del municipio Guacara.

4.1. Ubicación geográfica y propiedades geofísicas de los pozos subterráneos en el Municipio Guacara.

Para la presente investigación se realizó un análisis del área de estudio, donde se delimita la cuenca del municipio Guacara, perteneciente a la cuenca del Lago Valencia en la cual se encuentra el acuífero de estudio. Para la delimitación se utilizó la herramienta computacional ArcGis en su versión 10.0, la cual modela la cuenca hidrográfica del estudio tal como se muestra en la figura 10.

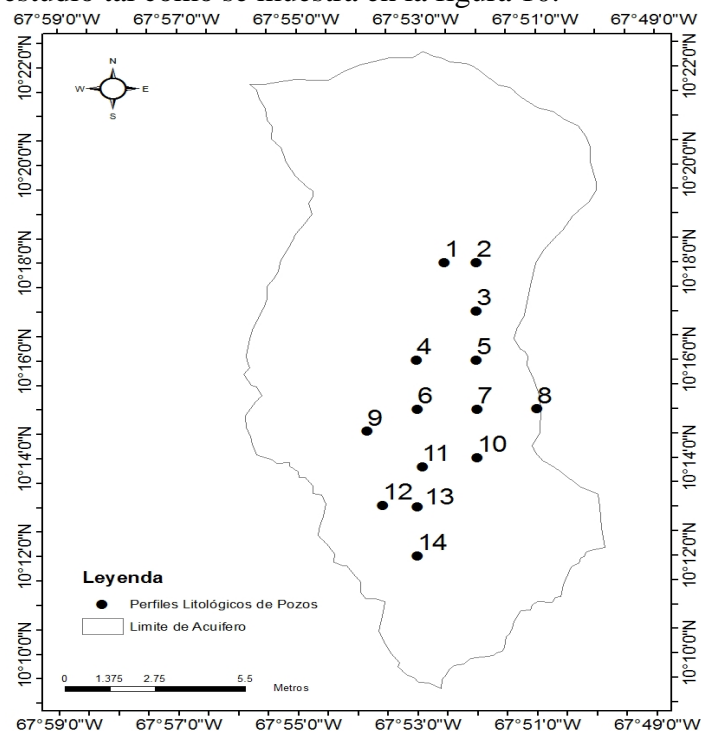


Figura 10. Ubicación de pozos del acuífero del Municipio Guacara.

En la figura 10, se muestra el límite del acuífero del municipio Guacara, cabe destacar que éste coincide con el límite territorial. Dentro del área del municipio podemos ver 14 puntos que representan los pozos que forman parte de éste estudio, se observa que están ubicados de norte a sur y que más de un 50 % se encuentran en el centro del mismo.

En total se lograron georreferenciar 14 pozos que contaban con sus respectivos datos de litología, lo cual es indispensable para utilizar el método Drastic.

En la tabla 12 se muestran los pozos georreferenciados con sus coordenadas Norte y Este, además de un código de identificación para cada uno de ellos el cual es asignado por el Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA).

Tabla 12. Ubicación e identificación de los pozos de estudio del acuífero del Municipio Guacara.

Pozo N°	Coordenadas		Código
	Norte	Este	
1	1138810.8	623131.69	CA6260012A
2	1138814.23	624105.19	CA6260258A
3	1136971.11	624111.7	CA6260254A
4	1135121.6	622292.72	CA6260193A
5	1135127.99	624118.21	CA6260253A
6	1133278.5	622299.12	CA6260194A
7	1133284.88	624124.7	CA6260197A
8	1133291.35	625950.29	CA6260191A
9	1132443.86	620780.64	CA6260008A
10	1131441.76	624131.18	CA6260192A
11	1131098.02	622458.81	CA6260102N
12	1129650.06	621246.64	CA6260101N
13	1129592.29	622311.88	CA6260153A
14	1127749.19	622318.25	CA6260251A

En la tabla 13, se pueden observar los 14 pozos de estudio con la descripción de su litología. Para cada pozo tenemos las letras a, b, c y d. La letra a identifica al número del pozo en estudio. Las letras b y c representan rangos de profundidades para cada capa de suelo que tiene el pozo, siempre inicia en cero y llega hasta la profundidad a la cual fue perforado. Y la letra d nos indica el código de descripción de cada capa de suelo, según el rango de profundidad que ésta posea.

Tabla 13. Perfiles litológicos de pozos del acuífero del Municipio Guacara mostrados en Figura 10.

a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d				
1	0	5	CL	2	0	12	SW	3	0	1	CV	4	0	0.5	CV	5	0	6	SW	6	0	1	CV	7	0	1	CV
1	5	6	SW	2	12	42	SW	3	1	15	GW	4	0.5	5	CL	5	6	18	SW	6	1	8	CL	7	1	10	SW
1	6	9	CL	2	42	60	GW	3	15	22	CL	4	5	38	SW	5	18	24	SW	6	8	20	GW	7	10	60	CL
1	9	11	SW	2	60	66	GC	3	22	25	SW	4	38	45	R	5	24	42	SW	6	20	46	CL				
1	11	13	CL	2	66	81	SW	3	25	44	CL	4	45	46	CL	5	42	48	SW	6	46	48	CL				
1	13	25	SW					3	44	50	SW	4	46	50	SW	5	48	54	SW								
1	25	35	GW					3	50	59	GW	4	50	70	R	5	54	60	CL								
1	35	36	CL					3	59	85	CL					5	60	66	SW								
1	36	40	GC					3	85	90	CL					5	66	72	CL								
1	40	63	GW													5	72	96	SW								
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d				
8	0	1	CV	9	0	1	CV	10	0	1	CV	11	0	2	CV	12	0	1	CV	13	0	2	CV	14	0	2	SW
8	1	19	SW	9	1	6	SW	10	1	10	CL	11	2	4	SW	12	1	3	CL	13	2	3	SW	14	2	22	CL
8	19	38	SW	9	6	15	GW	10	10	15	GW	11	4	6	SW	12	3	9	SW	13	3	4	SW	14	22	33	GW
8	38	46	CL	9	15	20	CL	10	15	20	CL	11	6	8	SW	12	9	66	SW	13	4	7	CL	14	33	44.8	GW
8	46	72	SW	9	20	60	GW	10	20	30	GW	11	8	10	SW	12	66	81	SW	13	7	10	SW	14	44.8	52.6	GW
8	72	80	CL					10	30	51	SW	11	10	16	SW	12	81	93	SW	13	10	12	CL	14	52.6	54	SW
												11	16	18	SW	12	93	102	GW	13	12	14	SW	14	54	60	CL
												11	18	22	CL	12	102	104	CL	13	14	18	CL	14	60	70.5	GW
												11	22	24	SW					13	18	22	SW				
												11	24	28	GW					13	22	24	CL				
												11	28	30	SW					13	24	25	SW				
												11	30	32	CL					13	25	27	CL				
												11	32	34	SW					13	27	29	GW				
												11	34	36	CL					13	29	32	CL				
												11	36	38	SW					13	32	34	GW				
												11	38	40	SW					13	34	40	CL				
												11	40	42	SW					13	40	42	GW				
												11	42	44	SW					13	42	44	CL				
												11	44	48	GW					13	44	50	SW				
												11	48	50	SW					13	50	52	CL				
												11	50	52	SW					13	52	56	GW				
												11	52	56	SW					13	56	60	CL				
												11	56	58	SW					13	60	67	GW				
												11	58	60	SW					13	67	68	CL				
												11	60	62	SW												

11	62	70	CL
11	70	72	SW
11	72	74	SW
11	74	76	CL
11	76	78	SW
11	78	80	CL
11	80	82	CL
11	82	84	SW
11	84	88	SW
11	88	90	SW

En la tabla 14 se describe el código de cada capa de suelo indicado en la tabla 13.

Tabla 14. Descripción del código de cada capa de suelo

GW	GRAVA BIEN GRADUADA, GRAVA FINA A GRUESA
GP	GRAVA POBREMENTE GRADUADA
GM	GRAVA LIMOSA
GC	GRAVA ARCILLOSA
SW	ARENA BIEN GRADUADA, ARENA FINA A GRUESA
SP	ARENA POBREMENTE GRADUADA
SM	ARENA LIMOSA
SC	ARENA ARCILLOSA
ML	LIMO
CL	ARCILLA
OL	LIMO ORGANICO, ARCILLA ORGANICA
MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD, LIMO ELASTICO
CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD
OH	ARCILLA ORGANICA, LIMO ORGANICO
CV	CAPA VEGETAL

De la tabla 13 de perfiles litológicos se obtiene que los materiales geológicos que más abundan en los estratos del terreno del municipio Guacara son: Arena bien

graduada, Arcilla, Grava bien graduada y Grava arcillosa. Según la descripción de códigos de la tabla 14.

4.2. Composición geofísica en pozos del Municipio Guacara.

Los resultados de la composición geofísica se enfocan en seis aspectos: Elevación de terreno, Pendiente de terreno, Porosidad, Permeabilidad, Transmisividad y Espesor Saturado. Se evidencia en la Figura 11, la elevación de terreno del municipio Guacara, y se observa que va desde los 416 a 1827 msnm, su zona norte es montañosa, las elevaciones son mayores a los 750 msnm. En el centro se tiene zonas montañosas y planas. Y el sur es plano.

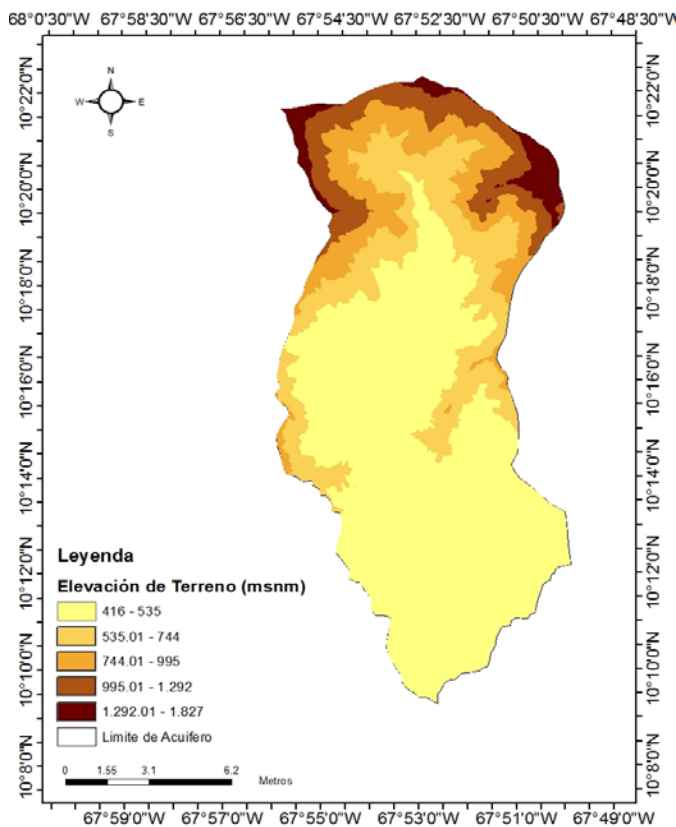


Figura 11. Elevación de terreno del acuífero del Municipio Guacara.

En la tabla 15, se puede observar que la zona plana representa aproximadamente un área de 59 % del municipio, con una altura media de 440,51 msnm.

Tabla 15. Estadísticas de la Elevación de terreno.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	659868	103104000	58.72	416	535	119	440.51	28.92
2	200561	31337700	17.85	536	744	208	630.49	59.22
3	130136	20333800	11.58	745	995	250	858.45	71.91
4	95205	14875800	8.47	996	1292	296	1131.95	84.36
5	38001	5937660	3.38	1293	1827	534	1452.72	132.95
TOTA:		175588960	100					

En la figura 12, se muestra la pendiente del terreno del municipio Guacara y se evidencia que la zona norte posee altas pendientes, mayores al 18%. En el centro de éste podemos encontrar pendientes que van desde 0 a más del 18%. Mientras que en el sur tiene pendientes bajas, en su mayoría menores al 2%

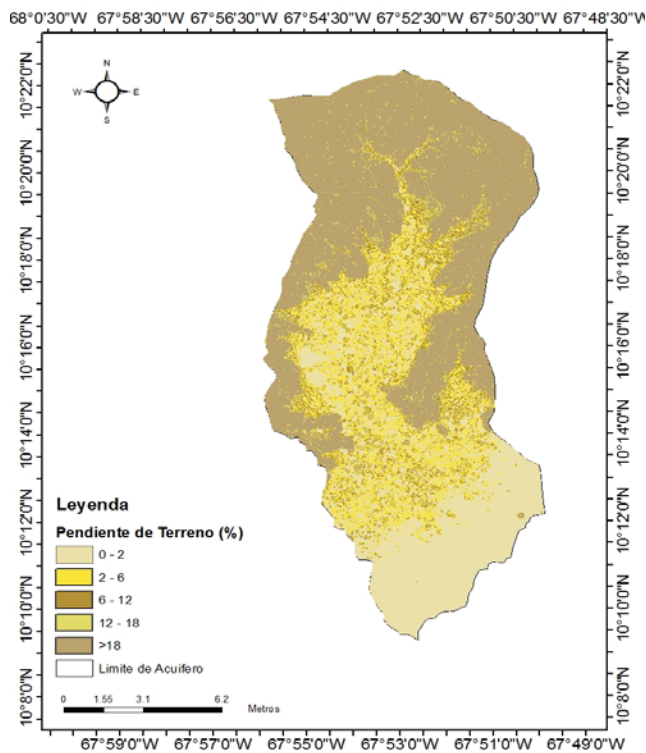


Figura 12. Pendiente de terreno del acuífero del Municipio Guacara.

En la tabla 16, se observa que un 43,64 % del municipio tiene pendiente mayor al 18 % con una media de 45,65%, y un 29,57% menor al 2% con una media del 0,18%.

Tabla 16. Estadísticas de la Pendiente de terreno.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	332290	51920300	29.57	0	2	2	0.18	0.49
2	167967	26244800	14.95	2.83	6	3.17	4.34	0.87
3	88189	13779500	7.85	6.32	12	5.68	8.65	1.53
4	44889	7013910	3.99	12.08	18	5.92	14.99	1.82
5	490436	76630600	43.64	18.11	436.32	418.21	45.65	20.21
TOTAL:		175589110	100					

La figura 13 muestra la porosidad del municipio Guacara, se evidencia que la zona norte tiene una porosidad que aumenta gradualmente hacia el centro del municipio. En el centro es variada. Y en el sur posee una alta porosidad.

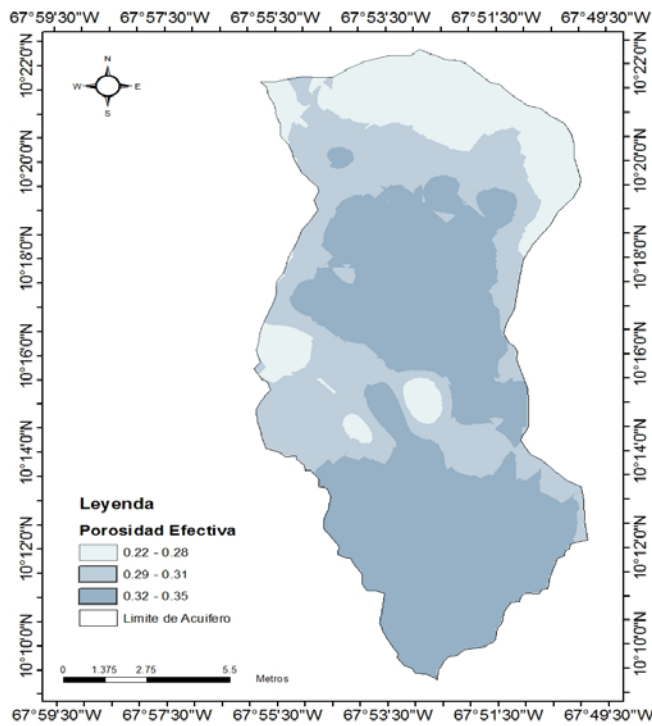


Figura 13. Porosidad Efectiva del acuífero del Municipio Guacara.

En la tabla 17, se observa que la porosidad de 0,32- 0,35 representa el 53,64 % del área del municipio, siendo la media de 0,33.

Tabla 17. Estadísticas de la Porosidad Efectiva.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	11999	29997500	17.08	0.22	0.28	0.06	0.260	0.013
2	20571	51427500	29.28	0.28	0.31	0.03	0.297	0.010
3	37685	94212500	53.64	0.31	0.35	0.04	0.330	0.009
TOTAL:		175637500	100					

En la figura 14, se tiene que la permeabilidad del municipio Guacara, en su zona norte es variada. En su zona central prevalece la de 100-500 m/d. Y en el sur la mayor parte va de 0-50 m/d.

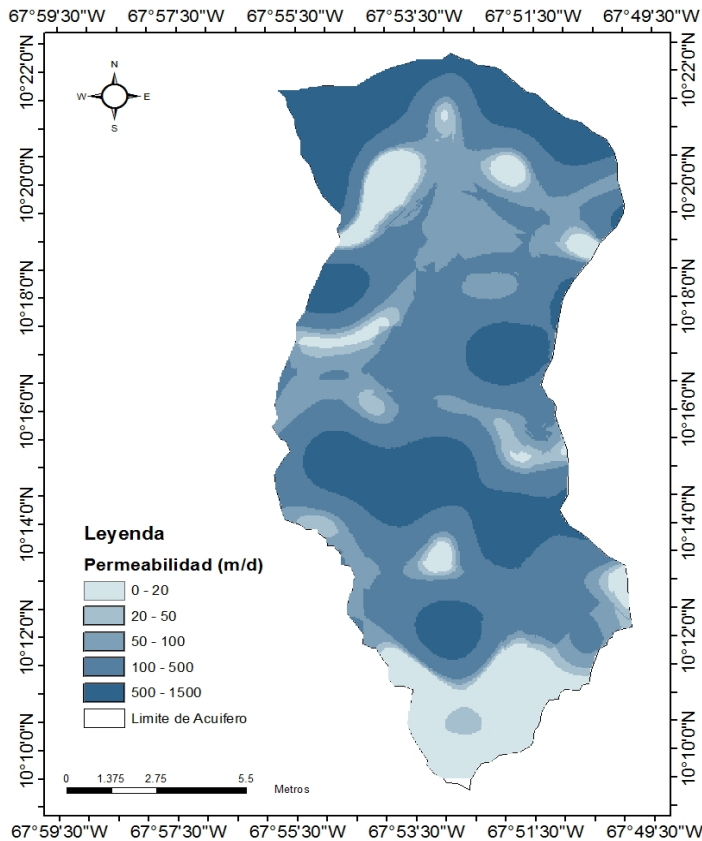


Figura 14. Permeabilidad del acuífero del Municipio Guacara.

En la tabla 18, se tiene que un 39,84% del área del municipio tiene una porosidad media de 235,69 m/d y el 25,30% una de 803,54 m/d.

Tabla 18. Estadísticas de la Permeabilidad.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	10334	20926400	11.92	-186.95	19.99	206.94	-21.02	43.01
2	4443	8997080	5.13	20.01	50.00	29.98	35.21	8.53
3	15437	31259900	17.81	50.00	100.00	50.00	82.76	14.87
4	34523	69909100	39.84	100.01	499.99	399.98	235.69	115.30
5	21925	44398100	25.30	500.00	1190.78	690.78	803.54	186.34
TOTAL:		175490580	100					

En la figura 15, se muestra la transmisividad del municipio Guacara, en su zona norte es alta con algunas áreas de baja transmisividad. En el centro con valores altos en casi toda su área. Y en el sur, es alta con áreas de media a baja transmisividad.

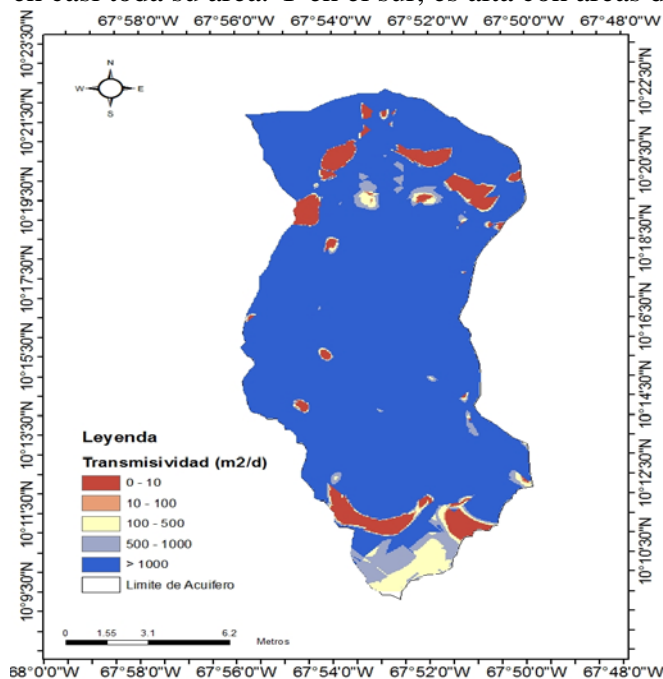


Figura 15. Transmisividad del acuífero del Municipio Guacara.

En la tabla 19, se observa que un área del 86,36% del municipio Guacara tiene una alta transmisividad con valores mayores a 1000 m²/d.

Tabla 19. Estadísticas de la Transmisividad.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	5183	10495600	5.98	-19523.20	9.84	19533.00	-3024.87	3832.75
2	231	467775	0.27	10.27	100.00	89.73	58.57	26.10
3	2656	5378400	3.06	100.74	499.95	399.22	386.54	111.30
4	3749	7591730	4.33	500.12	999.94	499.82	703.98	157.62
5	74843	151557000	86.36	1000.14	90425.00	89424.80	15123.90	14555.50
TOTAL:		175490505	100					

En la figura 14, se observa el espesor saturado del municipio Guacara, en la zona norte tenemos valores en su mayoría de 10,00-31,00 m. En el centro de 31,01-57,00 m. Y en el sur de 45,25-79,09 m.

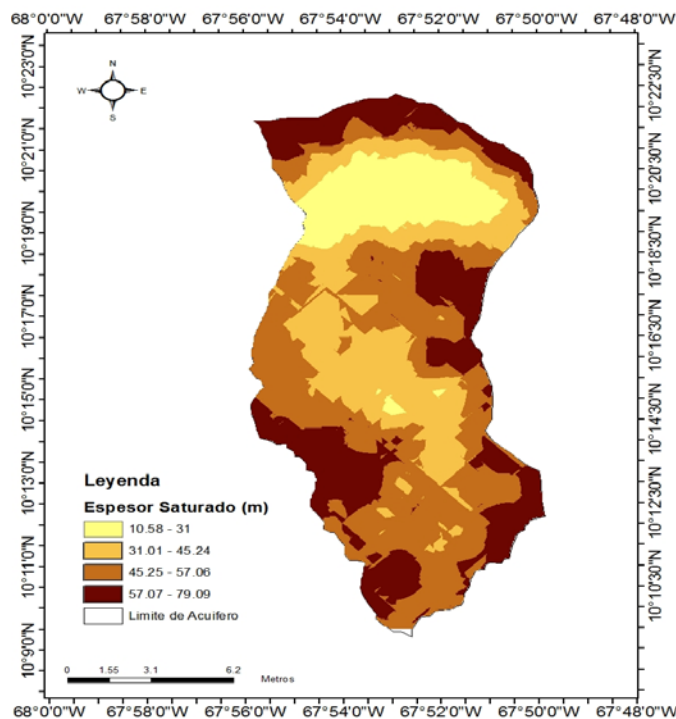


Figura 16. Espesor Saturado del acuífero del Municipio Guacara.

En la tabla 20 se muestra que un 38,20% del área del municipio tiene un espesor saturado de 45,10-56,88 m, con una media de 50,83 m.

Tabla 20. Estadísticas del Espesor Saturado.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	10504	21270600	12.12	10.58	30.92	20.34	22.24	4.51
2	20950	42423800	24.17	30.92	45.10	14.18	39.68	3.75
3	33105	67037600	38.20	45.10	56.88	11.77	50.83	3.25
4	22103	44758600	25.50	56.88	79.09	22.21	63.15	4.87
TOTAL:		175490600	100					

4.3. Aplicar métodos para estimar la vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara.

A continuación se van a mostrar las propiedades **Profundidad del Agua, Recarga Neta, Naturaleza del Acuífero, Tipo de Suelo, Topografía, Impacto de Zona Vadosa y Conductividad Hidráulica** del Método **DRASTIC**, en las figuras 17,18, 19, 20, 21, 22 y 23 respectivamente, procesadas mediante el programa computacional ArcGIS 10.0. Y en las tablas 21, 22 23, 24, 25, 26 y 27 se muestran los valores medios de acuerdo al análisis estadístico de dichas propiedades descritas anteriormente.

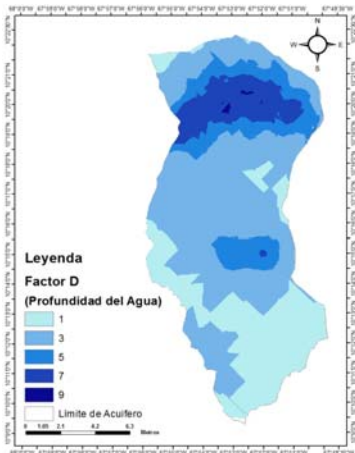


Figura 17. Factor D.

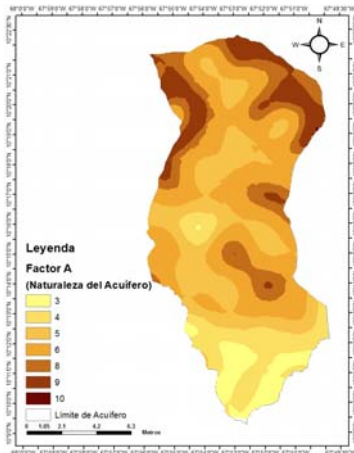


Figura 19. Factor A.

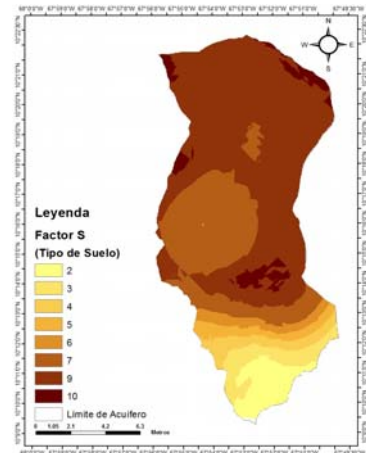


Figura 20. Factor S.

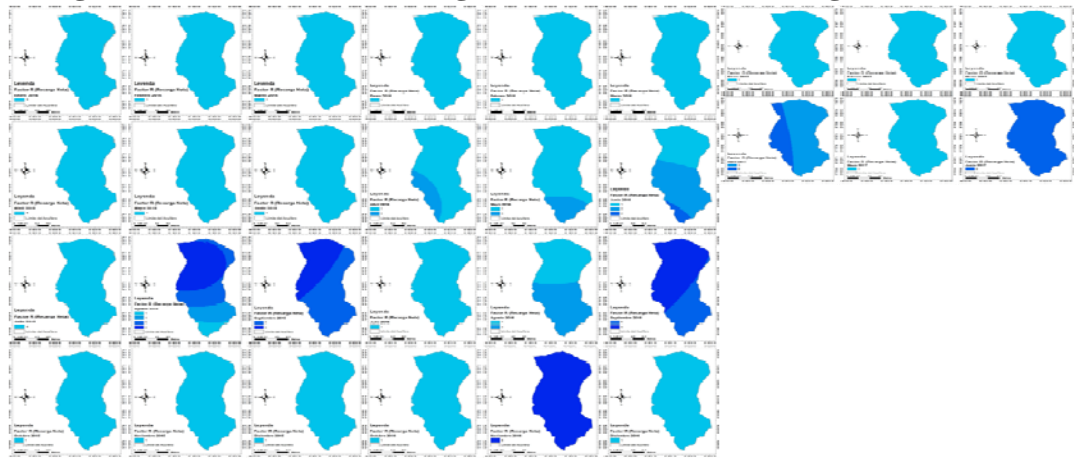


Figura 18. Factor R, Año 2015-2016-2017.

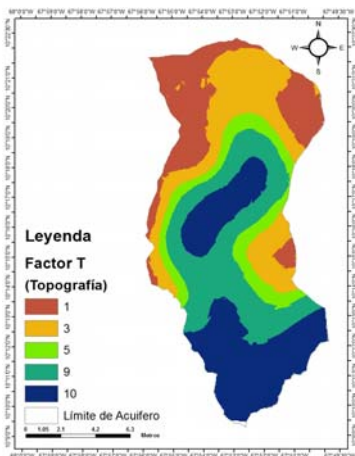


Figura 21. Factor T.

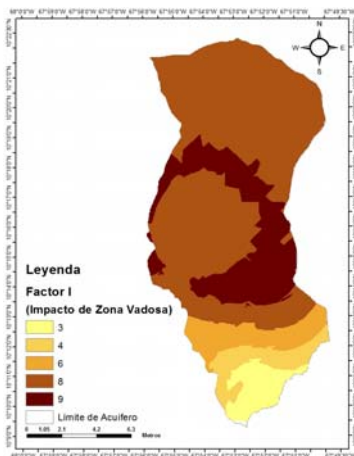


Figura 22. Factor I.

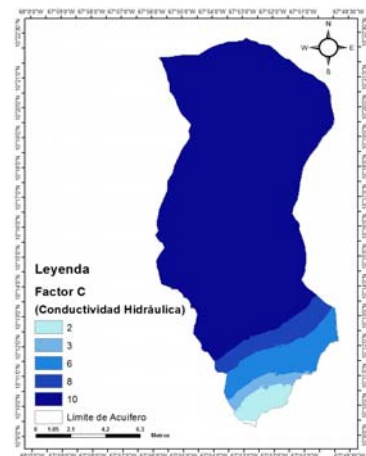


Figura 23. Factor C.

Tabla 21. Estadísticas del Factor D.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	22456	45473400	25.96	1.00	2.01	1.01	1.00	0.03
3	43267	87615700	50.02	1.00	3.53	2.53	1.80	0.50
5	11799	23893000	13.64	2.60	5.27	2.67	3.88	0.58
7	8807	17834200	10.18	4.41	7.37	2.96	5.89	0.52
9	165	334125	0.19	6.47	7.35	0.88	7.08	0.14
TOTAL:		175150425	100					

Tabla 22. Estadísticas del Factor R.

AÑO 2015	Valor	Área (m ²)	Mín.	Máx.	AÑO 2016	Valor	Área (m ²)	Mín.	Máx.
Ene	1	174960000	-120.14	-111.02	Ene	1	175610000	-141.36	-140.42
Feb	1	175610000	-167.67	-160.91	Feb	1	175610000	-138.01	-136.00
Mar	1	175610000	-165.98	-157.59	Mar	1	175610000	-192.47	-185.28
Abr	1	175610000	-136.44	-115.07	Abr	1	146610000	2.23	50.00
May	1	175610000	-141.07	-100.50		2	29000000	50.00	60.97
Jun	1	175610000	-102.00	-80.39	May	1	145920000	-8.10	50.00
Jul	1	175610000	-28.09	17.72		2	29690000	50.00	56.25
Ago	1	11700000	27.83	50	Jun	1	74630000	-10.69	49.99
	2	32170000	50.01	102.98		2	91940000	50.00	102.99
	3	47850000	103.02	178.00		3	9040000	103.00	113.51
	4	83890000	178.00	248.54	Jul	1	175610000	20.75	48.36
Sep	1	106510000	124.77	178.00	Ago	1	87590000	-23.34	50.00
	2	69100000	178.00	204.63		2	88020000	50.01	94.02
Oct	1	175610000	-67.56	-3.61	Sep	3	60850000	139.49	178.00
Nov	1	175610000	-87.66	-64.01		4	114760000	178.00	219.34
Dic	1	175610000	-105.14	-100.14	Oct	1	175610000	-6.58	21.91
					Nov	4	175610000	183.08	222.67
					Dic	1	175610000	-71.99	-69.01
AÑO 2017	Valor	Área (m ²)	Mín.	Máx.					
Ene	1	175610000	-66.08	-62.02					
Feb	1	175610000	-78.85	-72.10					
Mar	1	175610000	-113.43	-99.06					

Abr	2	128730000	91.76	103.00
	3	46880000	103.00	108.34
May	1	175610000	9.27	27.25
Jun	3	175610000	162.25	172.10

En el anexo D se muestran por mes.

Tabla 23. Estadísticas del Factor A.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
3	5781	11706500	6.68	3.74	4.09	0.36	3.94	0.07
4	10479	21220000	12.11	3.98	5.06	1.08	4.34	0.30
5	19570	39629200	22.62	4.92	6.27	1.34	5.64	0.25
6	29918	60584000	34.58	5.84	8.42	2.57	6.78	0.60
8	12254	24814400	14.16	7.87	9.11	1.24	8.55	0.30
9	8483	17178100	9.81	8.90	10.05	1.15	9.29	0.21
10	26	52650	0.03	9.99	10.11	0.12	10.04	0.04
TOTAL:		175184850	100					

Tabla 24. Estadísticas del Factor S.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
2	4868	9857700	5.63	2.04	3.10	1.06	2.72	0.26
3	4095	8292380	4.73	2.88	4.22	1.34	3.45	0.29
4	3201	6482030	3.70	3.76	5.22	1.45	4.50	0.30
5	2691	5449280	3.11	4.82	6.08	1.25	5.49	0.29
6	2360	4779000	2.73	5.86	7.23	1.37	6.50	0.29
7	19725	39943100	22.80	6.92	9.24	2.32	8.15	0.60
9	46033	93216800	53.21	8.80	10.21	1.40	9.53	0.28
10	3542	7172550	4.09	9.84	10.28	0.44	10.06	0.06
TOTAL:		175192840	100					

Tabla 25. Estadísticas del Factor T.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	15596	31581900	18.03	-1.02	1.25	2.28	0.77	0.26
3	18523	37509100	21.41	0.62	3.15	2.53	1.71	0.57
5	8878	17978000	10.26	2.87	5.20	2.33	3.98	0.58
9	20550	41613800	23.76	4.80	9.34	4.53	7.18	1.15
10	22949	46471700	26.53	8.57	11.90	3.34	9.95	0.52
TOTAL:		175154500	100					

Tabla 26. Estadísticas del Factor I.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
3	4775	9669380	5.52	2.20	3.29	1.09	2.77	0.21
4	4868	9857700	5.63	2.92	4.07	1.15	3.44	0.29
6	6792	13753800	7.85	3.62	6.15	2.53	4.94	0.58
8	53270	107872000	61.60	5.94	8.26	2.32	7.68	0.50
9	16778	33975400	19.40	7.90	8.75	0.85	8.25	0.17
TOTAL:		175128280	100					

Tabla 27. Estadísticas del Factor C.

Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
2	2228	4511700	2.58	1.05	2.12	1.06	1.52	0.23
3	1594	3227850	1.84	1.61	3.26	1.65	2.51	0.29
6	6159	12472000	7.12	2.84	6.09	3.26	4.57	0.83
8	4346	8800650	5.02	5.95	8.09	2.14	7.00	0.57
10	72174	146152000	83.44	7.96	10.85	2.89	9.95	0.32
TOTAL:		175164200	100					

En la figura 17 se muestra la profundidad del agua del acuífero del municipio Guacara y se tiene que en la zona norte la profundidad del agua varía en su mayoría de área de 9-23 m. En el centro tenemos profundidades que van de 23-30 m. Y en el sur con profundidades mayores a los 30 m.

De la tabla 21 se tiene que el 50,02 % del área del municipio tiene una profundidad del agua de 23-30 m.

En la figura 18, se observa la recarga neta del acuífero del municipio Guacara durante el período de estudio que fueron los años 2015, 2016 y hasta Junio de 2017. La cual se obtiene de la resta algebraica, Precipitación y Evapotranspiración, usando el programa computacional ArcGIS 10.0

En el año 2015:

Desde Enero-Julio y Octubre-Diciembre se mantuvo en un rango de 0-50 mm.

A excepción de:

Agosto donde la recarga en la zona norte fue de 178-254 mm, en el centro de 103-254 mm y al sur de 0-103 mm.

Septiembre, al norte y centro fue de 103-254 mm, en el sur de 103-178 mm.

Estas variaciones se deben a que los valores de precipitación y evapotranspiración, no son uniformes en toda el área del municipio. Ya que pueden presentarse precipitaciones en el norte del municipio y en el sur no, como sucedió en el mes de agosto.

En el año 2016:

De Enero-Marzo, Julio, Octubre y Diciembre de 0-50 mm.

En Abril, Mayo y Agosto de 0-103 mm, con la menor recarga al norte.

Julio con un rango de 0-178 mm, con la menor recarga al norte.

Septiembre va de 103-254 mm, con la mayor recarga al norte.

Noviembre de 178-254 mm en toda el área del municipio.

Estas variaciones se deben a que los valores de precipitación y evapotranspiración, no son uniformes en toda el área del municipio. Ya que pueden presentarse fuertes precipitaciones en el sur del municipio, moderadas en el centro y muy pocas en el norte.

En el año 2017:

De Enero-Marzo y Mayo va de 0-50 mm.

En Abril de 50-178 mm.

Junio de 103-178 mm en toda el área.

En la figura 19, se visualiza la naturaleza del acuífero del municipio Guacara de la cual podemos decir que en la zona norte predomina una litología de grava y arena. En el centro se tiene en su mayoría arenisca, caliza, grava y arena. Y en el sur con litología metamórfica.

De la tabla 23, se observa que un 48,74 % del área del municipio tiene litología arenisca, caliza, grava y arena.

En la figura 20, se muestra el tipo de suelo del acuífero del municipio Guacara, en el norte el suelo es de arena con poca grava. En el centro es de arena con agregado arcilloso. Y en el sur está conformado por áreas con mezcla de cieno, limo y arcilla.

De la tabla 24, se tiene que el suelo del municipio Guacara en un 59,21 % es de arena.

En la figura 21, se observa la topografía del acuífero del municipio Guacara, donde en el norte del municipio se tienen pendientes máximas en casi toda su área mayores al 12 %. En el centro es muy variable, ya que tiene bajas y altas pendientes. Mientras que en el sur las pendientes van de 0-6 %.

De la tabla 25, se tiene que el 50,29 % del área del municipio tiene pendientes de 0-6 %.

En la figura 22, se observa el impacto de la zona vadosa del acuífero del municipio Guacara, teniéndose que en el norte la zona no saturada está conformada por grava y arena. En el centro por grava, arena y basaltos. Y en el sur la zona por cieno, arcilla, arena o grava con alto contenido de cieno y arcilla.

De la tabla 26, se tiene que el 61,60 % del área del municipio tiene una zona no saturada de grava y arena.

En la figura 23, se observa la conductividad hidráulica del acuífero del municipio Guacara, y se puede notar que en el norte y centro del municipio en su mayoría de área la transmisividad es mayor a 81,49 m/d. Mientras que en el sur varía desde 0,04 m/d hasta más de 81,49 m/d en algunas áreas.

De la tabla 27, se nota que el 83,44 % del área del municipio tiene una transmisividad mayor a 81,49 m/d. De lo cual podemos decir que el municipio tiene una alta transmisividad.

4.4. Elaborar mapas de vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara.

Considerando los parámetros **Profundidad del Agua, Recarga Neta, Naturaleza del Acuífero, Tipo de Suelo, Topografía, Impacto de Zona Vadosa y Conductividad Hidráulica** de acuerdo al método DRASTIC se determinó la vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara, haciendo uso del programa computacional ArcGIS 10.0. En las figuras 24, 25 y 26 se muestran los mapas de vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara, para los años 2015, 2016 y 2017 hasta el mes de Junio. Y en las tablas 28, 29 y 30 se muestra un resumen de los valores de porcentaje de área, según cada grado de vulnerabilidad de acuerdo al análisis estadístico.

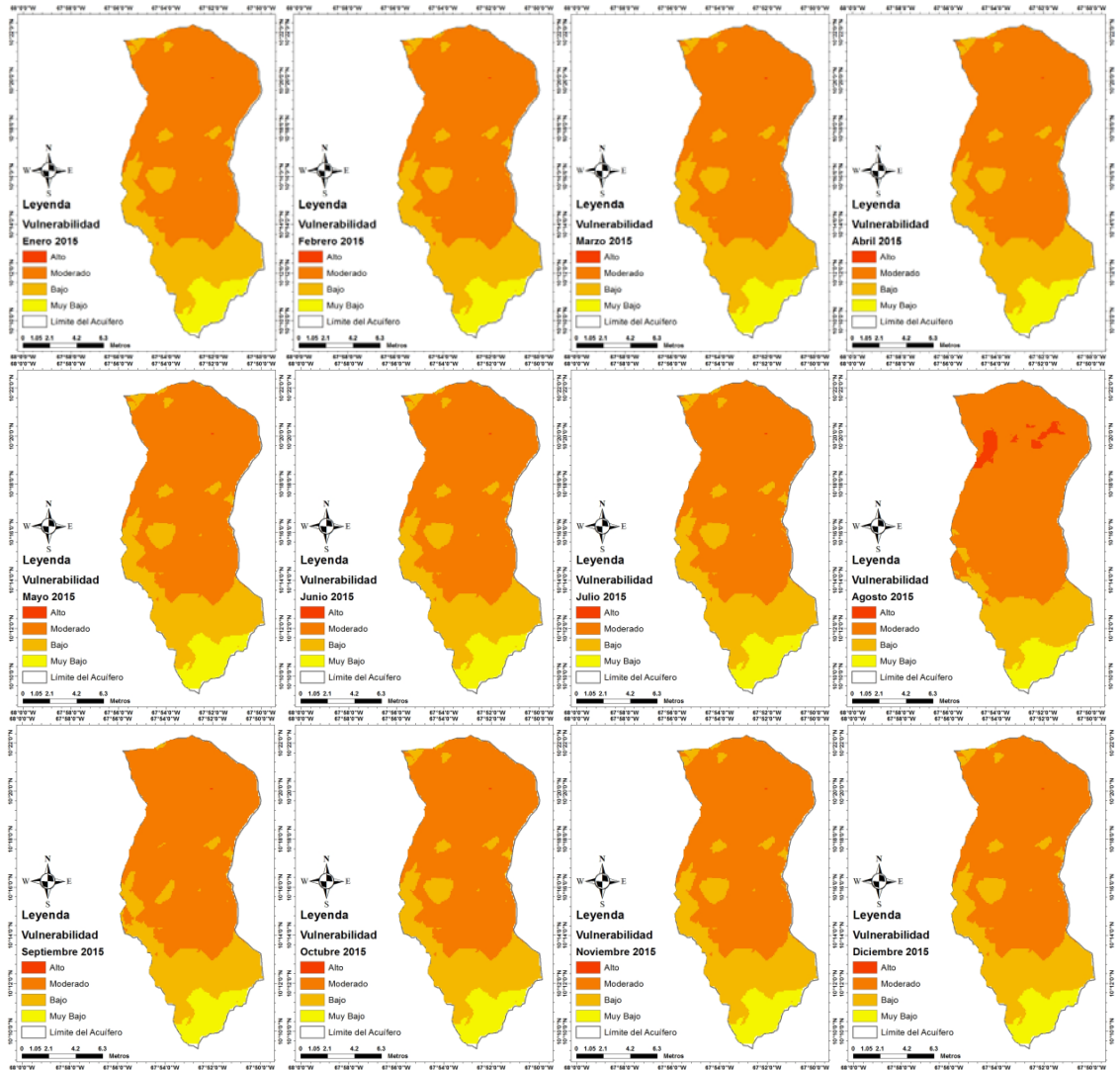


Figura 24. Vulnerabilidad del acuífero del Municipio desde Enero-2015 hasta Diciembre-2015.

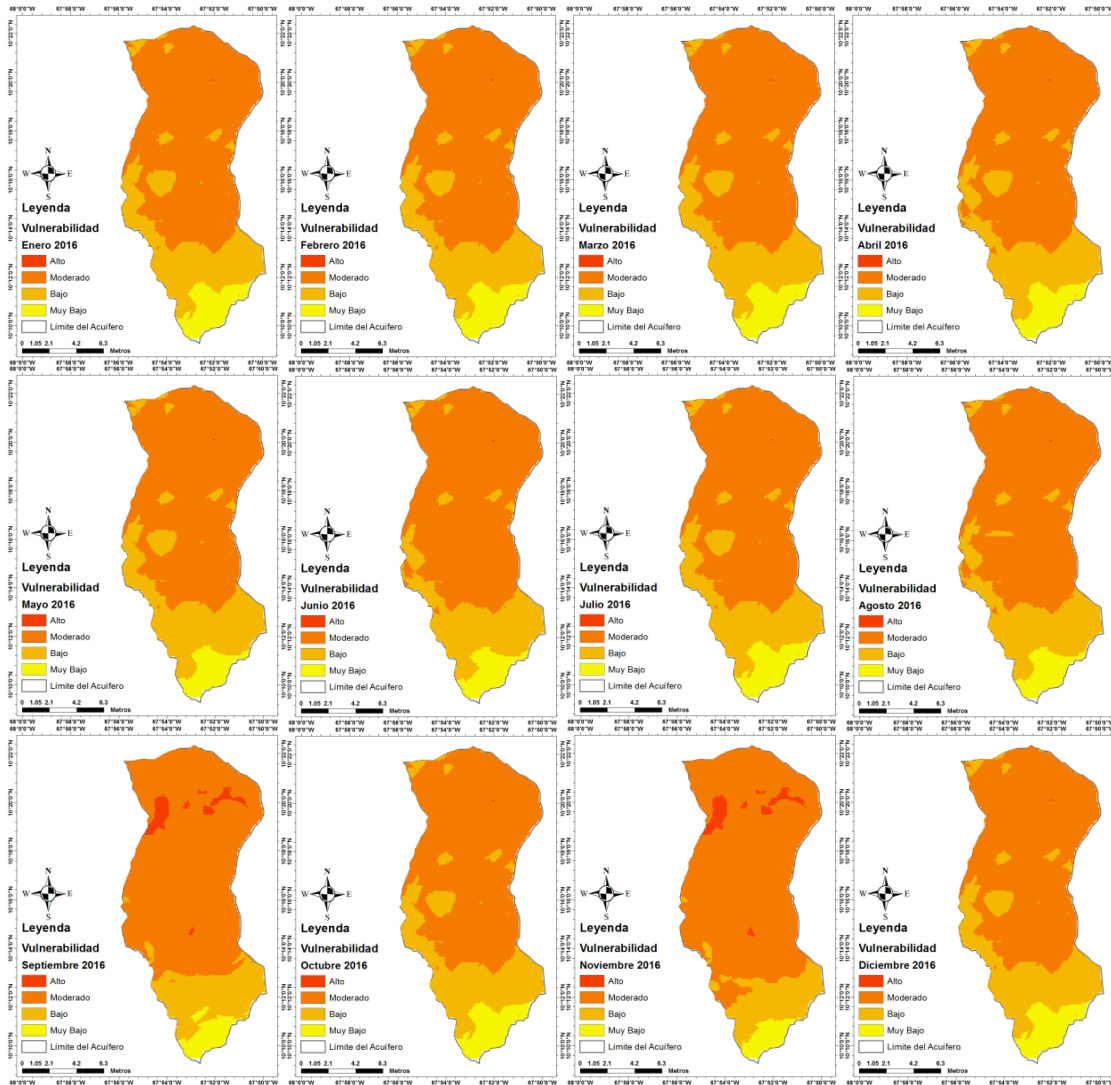


Figura 25. Vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2016 hasta Diciembre-2016.

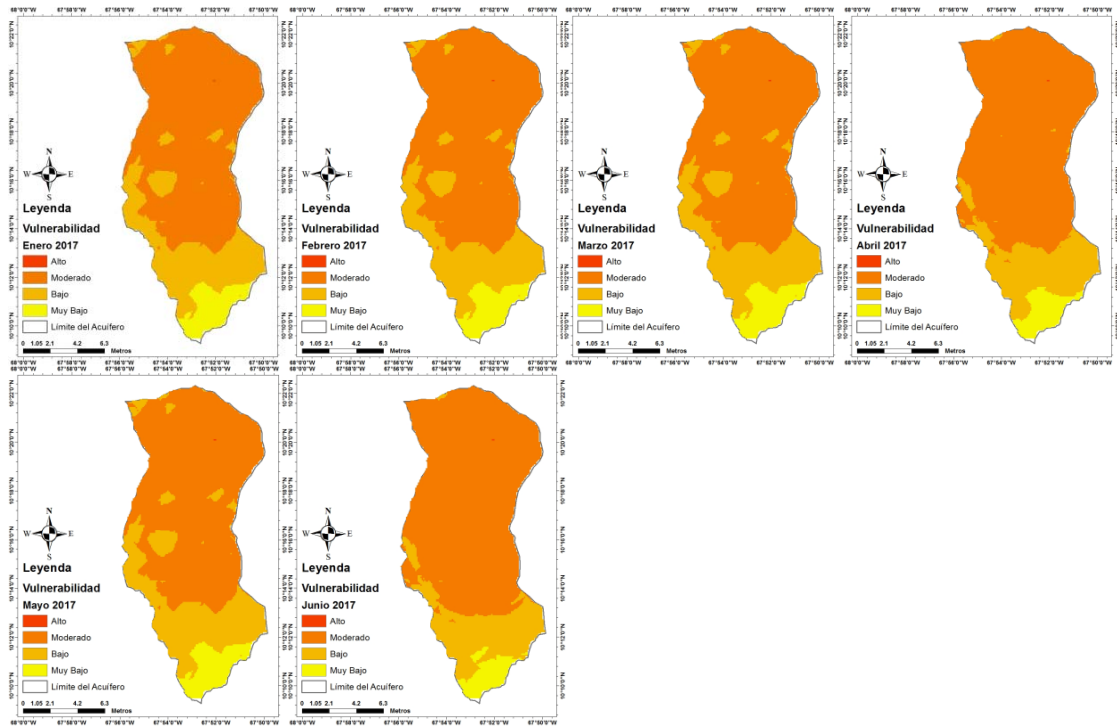


Figura 26. Vulnerabilidad del acuífero del Municipio Guacara desde Enero-2017 hasta Junio-2017.

Tabla 28. Estadísticas del Vulnerabilidad Año 2015.

2015	ÁREA (%)											
Grado Vulnerabilidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Muy Bajo	6.93	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	5.72	6.96	6.96	6.96	6.96
Bajo	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	19.62	22.61	26.05	26.05	26.05
Moderado	67.01	66.97	66.97	66.97	66.97	66.97	66.97	71.93	70.41	66.97	66.97	66.97
Alto	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.73	0.01	0.01	0.01	0.01

Tabla 29. Estadísticas del Vulnerabilidad Año 2016.

2016	ÁREA (%)											
Grado Vulnerabilidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Muy Bajo	6.96	6.96	6.96	6.73	5.47	5.40	6.96	5.47	4.67	6.96	3.82	6.96
Bajo	26.05	26.05	26.05	25.51	27.55	24.20	26.05	24.85	16.92	26.05	13.98	26.05
Moderado	66.97	66.97	66.97	67.76	66.97	70.39	66.97	69.67	75.42	66.97	79.15	66.97
Alto	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.99	0.01	3.05	0.01

Tabla 30. Estadísticas del Vulnerabilidad Año 2017.

2017	ÁREA (%)					
Grado Vulnerabilidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Muy Bajo	6.96	6.96	6.96	5.47	6.96	4.67
Bajo	26.05	26.05	26.05	20.52	26.05	19.13
Moderado	66.97	66.97	66.97	74.00	66.97	76.19
Alto	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

En el anexo F se muestran por mes.

La vulnerabilidad se evaluó en los años 2015, 2016 y 2017 hasta Junio.

En el año 2015:

Desde Enero-Julio y Octubre-Diciembre el grado de vulnerabilidad es similar, su comportamiento es el siguiente:

En la zona norte en casi toda su área es moderado.

En el centro se mantiene moderado pero aumenta el área con baja vulnerabilidad.

El sur del municipio tiene un grado de vulnerabilidad de bajo a muy bajo.

A excepción de:

Agosto, donde en la zona norte se tiene un área con alto grado de vulnerabilidad y la restante moderada. El centro casi en su totalidad es moderado con algunas áreas de baja vulnerabilidad. Y el sur se mantiene aproximadamente igual a los meses descritos anteriormente.

Septiembre, con casi toda la zona norte de vulnerabilidad moderada. El centro mayormente moderado con áreas de baja vulnerabilidad. Y el sur también se mantiene aproximadamente igual a los meses descritos anteriormente.

En el año 2016:

Tenemos que en Enero, Febrero, Marzo, Julio, Octubre y Diciembre el grado de vulnerabilidad es similar y su comportamiento es el siguiente:

En la zona norte en casi toda su área es moderado.

En el centro se mantiene moderado pero aumenta el área con baja vulnerabilidad.

El sur del municipio tiene un grado de vulnerabilidad de bajo a muy bajo.

A excepción de:

Abril, Mayo y Agosto con leves variaciones pero muy similares a los meses descritos anteriores.

Junio, es similar a los meses anteriores, solo varía es la zona del centro donde se presenta un aumento del área con moderada vulnerabilidad.

Septiembre, presenta una zona norte con área de alto grado de vulnerabilidad y la restante moderada. El centro casi en su totalidad es moderado, con una pequeña área

de alta vulnerabilidad. Y en el sur aumenta el área moderada con respecto a los otros meses.

Noviembre es similar a septiembre, solo varía al sur del municipio que presenta un aumento del área con vulnerabilidad moderada.

En el año 2017:

Se tiene que de Enero-Marzo y Mayo el grado de vulnerabilidad es similar y su comportamiento es el siguiente:

En la zona norte en casi toda su área es moderado.

En el centro se mantiene moderado pero aumenta el área con baja vulnerabilidad.

El sur del municipio tiene un grado de vulnerabilidad de bajo a muy bajo.

A excepción de:

Abril y Junio, con una zona norte de vulnerabilidad moderada, el centro del municipio con una mayoría de área moderada y el sur compartido con vulnerabilidad baja y muy baja.

De los resultados obtenidos a partir de los mapas de vulnerabilidad se observó que en la zona de estudio se presentaron grados de Vulnerabilidad Alto, Moderado, Bajo y Muy Bajo.

La Vulnerabilidad Alta se presenta en un área del (0,01-3,05) % del acuífero del municipio Guacara, se ubica en un área muy pequeña de la zona del centro y su mayoría en la zona norte, donde la elevación de terreno es mayor a los 750 msnm, con pendientes de terreno mayores al 18%, un espesor saturado de 10-31 m, nivel freático de 9-23 m, acuífero de grava y arena, suelo arenoso con poca grava, zona no saturada de grava y arena, topografía mayor al 12% y alta conductividad hidráulica.

La Vulnerabilidad Moderada se presenta en un área del (66,97-79,15) % del acuífero del municipio Guacara, se ubica en la zona norte descrita anteriormente y en la zona centro de éste, donde la elevación de terreno va de los 416-995 msnm, con pendientes de terreno de 0-12%, permeabilidad de 100-500 m/d, un espesor saturado

de 31-57 m, nivel freático de 23-30 m; acuífero de arenisca, caliza, grava y arena, suelo de arena con agregado arcilloso; zona no saturada de grava, arena y basaltos, topografía variable y alta conductividad hidráulica.

La Vulnerabilidad Baja se presenta en un área del (13,98-27,55) % del acuífero del municipio Guacara, se ubica en la zona centro descrita anteriormente y en la zona sur de éste, donde la elevación de terreno va de los 416-535 msnm, con pendientes de terreno de 0-6%, permeabilidad de 0-50 m/d, un espesor saturado de 45-79 m, nivel freático mayor a 30 m; acuífero metamórfico, suelo de cieno, limo y arcilla; zona no saturada de cieno, arcilla, arena o grava con alto contenido de cieno y arcilla, topografía de (0-6) % y una conductividad hidráulica que varía de alta a baja gradualmente.

La Vulnerabilidad Muy Baja se presenta en un área del (3,82-6,96) % del acuífero del municipio Guacara, se ubica solamente en la zona sur descrita anteriormente.

La Vulnerabilidad aumenta, al aumentar la recarga. Se puede observar en Agosto-2015 y Noviembre-2016 que fueron los meses con mayor recarga y donde hubo un área con vulnerabilidad alta. Al igual que Junio 2017, mes con mayor recarga del año en estudio y se presentó un aumento de la vulnerabilidad moderada.

La vulnerabilidad alta se presenta en los meses de Agosto-2015, Septiembre-2016 y Noviembre-2016. En el mes Junio-2017 se observó un aumento de la vulnerabilidad moderada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El acuífero del Municipio Guacara está conformado por arena o grava, arenisca y caliza masiva en un 48,74%.
2. El acuífero del Municipio Guacara tiene una elevación de terreno de 416-535m en un área de 58,72%, una pendiente de terreno mayor al 18% en un área de 43,64% y una porosidad efectiva media de 0,33 en un área de 53,64%.
3. Al aumentar la recarga neta, la vulnerabilidad aumenta en las zonas de alta elevación y altas pendientes de terreno.
4. La vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara se localiza entre (0-3) % en niveles alto, de (67-79) % del territorio en niveles moderado, de (14-27) % en nivel bajo y (4-7) % en nivel muy bajo.
5. En las zonas norte y centro del municipio Guacara, la vulnerabilidad del acuífero se mantiene en niveles moderado y en algunas áreas pasa a alto, cuando aumenta la recarga neta en esas zonas. En la zona sur siempre se mantiene en niveles de bajo a muy bajo.

RECOMENDACIONES

Es importante destacar que no fue posible obtener toda la información de la litología en todos los pozos. Sólo 14 tenían estudio litológico, por lo que se recomienda recolectar el resto de la data, con el propósito de contar con más detalles de las variables suelo y litología.

Realizar pruebas de análisis físico-químicos y bacteriológicos a los pozos anualmente para verificar y comparar las características de las aguas como se indican en las Normas Sanitarias de Calidad del agua Potable para garantizarle a la población la calidad del agua.

Ejecutar el caso en estudio a nivel del estado, especialmente en los municipios con mayor densidad poblacional, como Valencia, Puerto Cabello, Libertador, Los Guayos, y Carlos Arvelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M. y Delgado, C. (2013). Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos, p.244-245. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/939/93928324001.pdf>.

Álvarez, M. (2008). La naturaleza de la investigación. Caracas: BIOSFERA.

Aller L., Bennet T., Lehr J., Petty R., and Hackett G. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. National Water Well Association. Dublin Ohio. EPA, Oklahoma. USA, EPA-600/2-87-036. 1-455.

Auge, M. (2001). Vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados. Ensayo preliminar. Red CyTED de vulnerabilidad de acuíferos.

Auge, M. (2004). Vulnerabilidad de acuíferos conceptos y métodos, p.1-3. Recuperado de http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo_bkp/gaye/archivos_pdf/VulnerabilidadConceptos.pdf.

Auge (2004). Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos. Buenos Aires: CONICET.

Balestrini, M. (2006) *Cómo se elabora el proyecto de investigación*. Caracas: Consultores Asociados.

Bases para el Plan Nacional de Gestión Integral de las Aguas (2010).

Becerril D., Miguel A. (2013). Vulnerabilidad Natural del Agua Subterránea en el Valle de Tula, Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

Carrillo, V. (2015). Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero del municipio San Diego, estado Carabobo, p.25-40. Recuperado de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/2420/vcarrillo.pdf?sequence=1>

Carrillo F., Víctor E. (2015). Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero del municipio San Diego, estado Carabobo. (Tesis de pregrado). Universidad de

Carabobo, Venezuela. Recuperado de

<https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjpo5Hg7TcAhWsTN8KHSswAr4QFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fmriuc.bc.uc.edu.ve%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F2420%2Fvcarrillo.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw1qmgc2Sv1XEElmxwUVH4e>.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1999, 30 de diciembre). Gaceta Oficial de la República N° 5.453. [Extraordinaria].

Derechos Ambientales en el Marco jurídico Venezolano. Disponible en: <http://siga.geoportalsb.gob.ve/pngia/>.

Decreto 883. (1995, 18 de diciembre). Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Gaceta Oficial de la República N° 5.021 [Extraordinaria].

Decreto N° 1.257 (1996, 26 de abril). Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Gaceta Oficial de la República N° 35.946.

Decreto 1.400 (1996, 02 de agosto). Normas sobre Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas. Gaceta Oficial de la República N° 36.013.

Decreto 2.048 sobre Normas para la Ubicación, Construcción, Protección, Operación y Mantenimiento de Pozos Perforados destinados al Abastecimiento de Agua Potable (1997, 24 de septiembre) Gaceta Oficial de la República N° 36.298.

Espinoza, C. y Ramírez, J. (2002). Análisis comparativo de técnicas de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos. Aplicación a la zona norte de la ciudad de Santiago, p.3. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-023.pdf>. Finol, M.; Camacho, H. (2008). El proceso de investigación científica. Maracaibo, Venezuela: Ediluz.

Gil Montes, J. (2012). Recursos Hidrogeológicos. Disponible en: <http://geologiavenezolana.blogspot.com/2012/05/recursoshidrogeologic>.

Hernández, R. (2008) Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill.

Hurtado, J. (2008). Metodología de la investigación: Guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas: Quirón Ediciones.

Ley de Aguas. (2007, 02 de enero). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.595.

Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009, 09 de enero) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.095.

Ley de Meteorología e Hidrología Nacional (2006, 22 de diciembre) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.833.

Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2010, 29 de julio) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.899. [Extraordinaria].

Ley Orgánica del Ambiente. (2006, 22 de diciembre). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.883.

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio. (1983, 11 de agosto). Gaceta Oficial de la República N° 3.238.

Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento Ambiental (2001, 31 de diciembre) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.568. [Extraordinaria].

Ley Penal del Ambiente. (2012, 02 de mayo). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.913.

Mena, G.; Montes, J. (2010). Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicada al antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona, Departamento de San Salvador. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:86_HsHK7ePcJ:ri.ues.edu.sv/2179/1/.

Norma Venezolana Covenin 589-79 (1979, 11 de diciembre). Código de Práctica para la Construcción de Pozos de Agua. República Bolivariana de Venezuela.

Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (1998, 13 de febrero) Gaceta Oficial de la República N° 36.395.

Obando, T. (2010). Parámetros hidrogeológicos característicos de las formaciones geológicas. Disponible en: <http://www.parametroshidrogeologicos-acuifero/parametros-hidrogeologicos-acuifero.pdf>.

Ordenanza sobre Protección de Ambiente y Servicios de Cooperación con el Saneamiento Ambiental en la jurisdicción del Municipio San Diego (2005, 03 de agosto). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 466. [Extraordinaria].

Palella, S. y Martins, F. (2010) Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, Venezuela: FEDUPEL.

Ríos, L.; Vélez, M. (2008) Vulnerabilidad a la contaminación, Zona Sur, Acuífero del Valle del Cauca en Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra. Medellín, Número 23. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n23/n23a07>.

Sahuquillo. (2009). La importancia de las aguas subterráneas, p.99. Recuperado de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>. Salhi, A.; Stitou el Messari, Jamal; Mahfoud, A.; (2007) Aplicación del método DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero de Oued Laou (Marruecos). Geogaceta 41.

Sánchez, J. (2012). Conceptos fundamentales. Disponible en: http://gea.ciens.ucv.ve/~hidrogeo/Conceptos_relacionados/fundamentales.pdf.

Salhi et al (2007). Aplicación del método DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero de Oued Laou (Marruecos). Recuperado de <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/8447/Aplicacion.pdf?sequence=2>.

Sancha, A. y Espinoza, C. (2002). Evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con compuestos orgánicos volátiles. Caso de la ciudad de Santiago de Chile, p.3-4. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/v-030.pdf>.

Santacruz, F. (2015, Agosto 31). Inducción en la investigación. Recuperado de <http://florfanyasantacruz.blogspot.com/2015/08/el-marco-teorico-antecedentes.html>.

Silva, J. (2008) Metodología de la Investigación. Elementos Básicos. Caracas: Ediciones CO-BO.

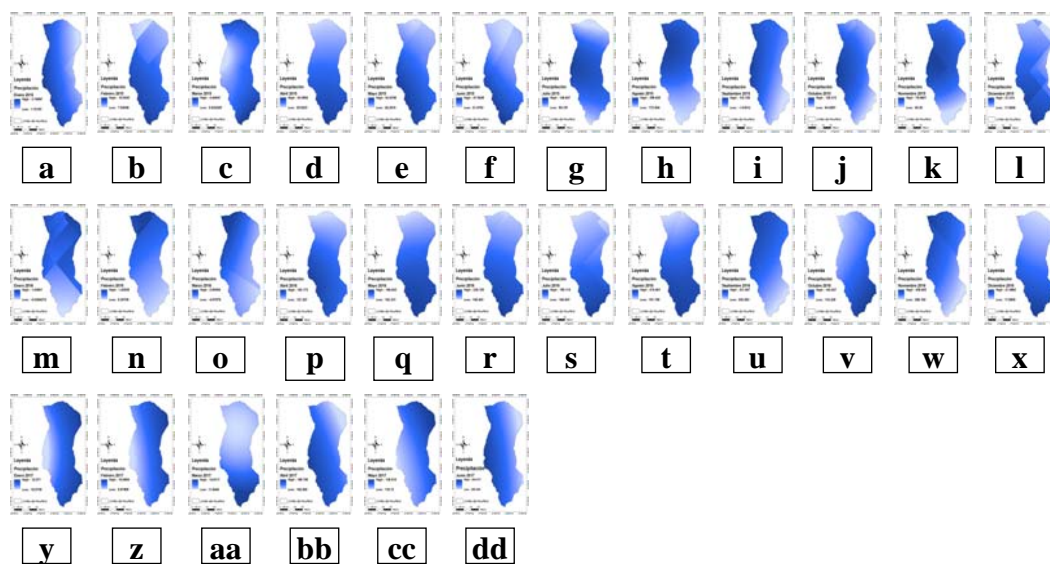
Valverde, Jonathan A. (2000). Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jonathan_AgueroValverde/publication/276989081_Analisis_de_vulnerabilidad_a_la_contaminacion_de_una_seccion_de_los_acuiferos_del_Valle_Central_de_Costa_Rica/links/555cbdba08ae8c0cab2a65f0/Analisis-de-vulnerabilidad-a-la-contaminacion-de-una-seccion-de-los-acuiferos-del-Valle-Central-de-Costa-Rica.pdf?origin=publication_detail.

Vargas Q., María C. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/acuiferos/Propuesta-metodologica-Vulnerabilidad-Intrinseca-de-lo-Acuiferos-a-la-Contaminacion.pdf>.

Vrba, J.; Zaporozec, A. (1994) Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Hannover: Verlag Heinz Heise. IAH. Vol. 16: 1-131.

ANEXOS A

Predicción espacial de la precipitación mensual.



	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Min.	2	7	1	21	26	21	99	173	0	65	49	17
Máx.	4	10	5	44	64	48	147	400	119	129	77	21

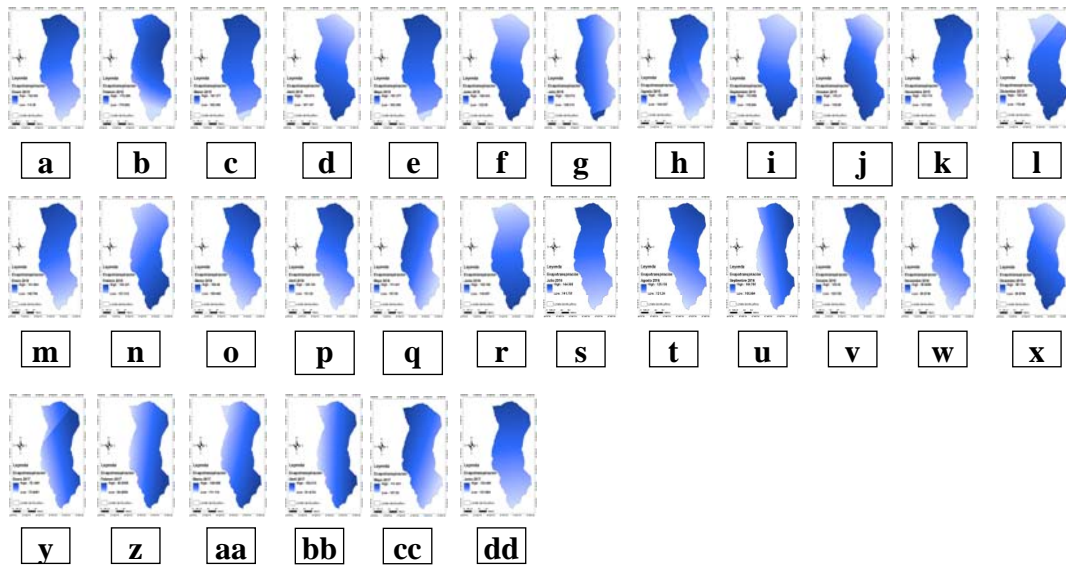
	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x
Min.	0	0	0	127	103	105	165	102	244	118	269	18
Máx.	1	1	3	183	165	234	190	215	321	143	309	21

	y	z	aa	bb	cc	dd
Min.	10	6	12	192	120	285
Máx.	12	18	15	200	137	295

Predicción espacial de la precipitación mensual (mm mes⁻¹) ocurrida sobre el acuífero del Municipio Guacara del Estado Carabobo durante el período 2015-2017: Figura 29 a-l: Enero –Diciembre 2015, Figura 29 m-x: Enero –Diciembre 2016, Figura 29 y – dd: Enero – Junio 2017.

ANEXOS B

Predicción espacial de la evapotranspiración mensual.



	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Min.	114	171	162	157	162	123	126	144	117	131	137	118
Máx.	123	175	167	159	167	128	132	153	119	133	143	125

	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x
Min.	141	137	185	121	108	116	142	121	101	121	86	89
Máx.	142	138	188	125	111	121	144	125	107	125	87	90

	y	z	aa	bb	cc	dd
Min.	73	84	111	91	108	122
Máx.	78	93	127	102	111	123

Predicción espacial de la evapotranspiración mensual (mm mes⁻¹) ocurrida sobre el acuífero del Municipio Guacara del Estado Carabobo durante el período 2015-2017: Figura 30 a-l: Enero –Diciembre 2015, Figura 30 m-x: Enero –Diciembre 2016, Figura 30 y – dd: Enero – Junio 2017.

ANEXOS C

Sectores por Circunscripciones, según Cantidad de Viviendas y Personas, año 2015.



Municipio Guacara. Sectores por Circunscripciones, según Cantidad de Viviendas y Personas, año 2015

CIRCUNSCRIPCIÓN	N°	SECTOR	VIVIENDAS	PERSONAS	SRC II	POZO	DIQUE TOMA
Total Municipio		147	48.691	202.365	94	44	9
C-18 Ciudad Alianza	1	JOSE LAURENCIO SILVA	344	1630	1		
	2	VILLA ALIANZA 2	338	1382	1		
	3	VILLA ALIANZA	382	1910	1		
	4	CDAD. ALIANZA 1ERA. ETAPA	834	4170	1		
	5	CDAD ALIANZA 2DA. “	638	3190	1		
	6	CDAD. ALIANZA 3ERA. “	512	2560	1		
	7	CDAD. ALIANZA 4TA. “A”	630	3150	1		
	8	CDAD. ALIANZA 4TA. “B”	756	3780	1		
	9	CDAD. ALIANZA 5TA. ETAPA	286	1430	1		
	10	RIO VERDE	94	282	1		
	11	VIVIENDAS DIGNAS	299	897	1		
	12	AGUA SAL (POR CONFORMARSE)	1189	5029	1		
TOTAL		12	6302	29410	12	0	0

C19- El Samán	13	SAMAN I	176	458	1		
	14	2SAMAN II	272	1015	1		
	15	SAMAN 3,5,6	178	649	1		
	16	SAMAN 10 Y 12	124	488	1		
	17	EL PRADO	665	1995	1		
	18	SAMAN 7	526	2100	1		
	19	LOS APAMATES	168	2135	1		
	20	SAMAN 3	547	1604	1		
	21	CEIBA DEL SAMAN	150	450	1		
	22	BOSQUE DEL SAMAN	92	359	1		
	23	LAGUNA DEL SAMAN	273	1390	1		
	24	ENMANUEL	61	262	1		
	25	SAMAN 8	196	750	1		

	26	SAMAN 9 Y 11	176	546	1		
	27	MOCUNDO	164	515	1		
	28	1ERO. DE MAYO	660	3996	1		
	29	LA COROMOTO	590	2900	1		
	30	JUANA RAMIREZ L AVANZADORA	210	610	1		
	31	VILLAS DE CAPREMINFRA	282	986	1		
	32	LOS GIRASOLES	159	633	1		
	33	SAMAN 4	436	1507	1		
TOTAL		21	6105	25348	21	0	0

C20-EL TOCO	34	NEGRO I	607	2274	1		
	35	SAN RAFAEL	390	1560	1		
	36	VICTORIA DE GUACARA	69	240	1		
	37	LOS NARANJOS	430	1728	1		
	38	LA FLORESTA	414	1450	1		
	39	LA EMBOSCADA	750	2800	1		
	40	VALLES DE NARANJAL	200	700	1		
	41	SIMON BOLIVAR NORTE	200	600	1		
	42	PERROTE I	270	1080	1		
	43	PERROTE II	243	1315	1		
	44	PERROTE III	227	602		1	
	45	PERROTE IV	175	665		1	
	46	LA ALEGRIA	265	1450	1		
	47	LOS CAOPOS	213	2200		1	
	48	LA MILAGROSA ELTOQUITO	304	1089	1		
	49	CARDONAL	550	2038		1	
	50	TOCO NORTE	935	4675		1	
TOTAL		17	6242	26466	12	5	0

C21-EL CENTRO	51	LA FLORIDA	500	2500	1		
	52	EL PLACER	338	1700		1	
	53	LA TIGRERA	480	1080	1		
	54	SAN AGUSTIN	250	1500	1		
	55	LAS CASITAS	186	1200	1		
	56	LA GOAJIRA	210	1100	1		
	57	LOMA LINDA	502	2012	1		
	58	LOS NARANJILLOS	780	3500	1		
	59	CONJUNTO 7 MALAVE (ROJOS)	300	830		1	
	60	CONJUNTO 4 MALAVE (200	829	1		

		VERDES)					
	61	CONJUNTO 1 Y 2 MALAVE (BLANCOS)	300	1282	1		
TOTAL		11	4046	17533	9	2	0

C-22 ARAGUITA	62	LA FRANJA	73	365	1		
	63	19 DE JULIO	255	1330	1		
	64	MOCUNDO	550	4000	1		
	65	N. SRA. DE COROMOTO	456	2280		1	
	66	CACIQUES DE GUACARA	330	1650		1	
	67	GUAICAIPURO	298	534		1	
	68	LA CEIBA 2021	342	1970	1		
	69	LA CEIBA	660	1300	1		
	70	SANTA EDUVIGUES	173	683	1		
	71	TESORO DEL INDILO LOTE III	588	1920		1	
	72	SIMON BOLIVAR	334	1590		1	
	73	TRICENTENARIO	665	1095		1	
	74	TESORO DEL INDILO LOTE II	701	1842	1		
	75	EZEQUIEL ZAMORA	258	1599		1	
	76	RAFAEL CALDERA	429	2095	1		
	77	13 DE MAYO	429	1225	1		
	78	LA FLORESTA	246	1450	1		
	79	EL MILAGRO	77	301	1		
	80	JUVENTUD I	450	2500	1		
	81	JUVENTUD II	158	756	1		
	82	GUAICAIPURO BOLIVARIANO	204	1000		1	
	83	EL LIBERTADOR	298	1069	1		
	84	DIOS TODO PODEROSO	560	2800		1	
	85	JOSE GREGORIO GUITIAN	161	686	1		
	86	SANTA BARBARA 1	140	382	1		
	87	SANTA BARBARA	186	558	1		
TOTAL		26	9021	36980	17	9	0

C23- VIGIRIMA	88	EL SISAL	525	2025		1	
	89	LA VECINDAD	165	547		1	
	90	TIERRA DE LUCHADORES” PETROGLIFOS DE GUACARA”	258	1032		1	
	91	COLINAS DEL TOCO (OJO DE AGUA)	331	2220		1	
	92	TRONCONERO NORTE	48	400		1	
	93	TRONCONERO SUR	95	670		1	
	94	COLINAS DE TRONCONERO	200	760		1	
	95	LA COMPAÑIA	1229	6200		1	
	96	MATA REDONDA	131	500		1	
	97	VALLES DE VIGIRIMA	80	214		1	
	98	TRONCONERO	240	1096		1	
	99	VILLAS DEL TOCO	46	170		1	
	100	AVISPERO NORTE	76	245		1	
	101	VALLE DORADO	60	295		1	
	102	DIEGO IBARRA	450	1440			1
	103	RAMON CRUCES	482	2605			1
	104	BOLIVARIANO I	521	1350		1	
	105	BOLIVARIANO II	200	1250		1	
	106	CACHO MOCHO	51	193			1
	107	EL CHAPARRAL	54	224			1
	108	VIGIRIMA CENTRO	55	1050			1
	109	BRISAS DEL MAYEI	210	450		1	
	110	LA FLOR DE LA MANGA	150	408			1
	111	LA MORITA	151	453			1
	112	LA PEÑITA	51	120			1
	113	PEÑITA AGRICOLA	28	133			1
TOTAL		26	5887	26050	0	17	9

C-24 EL SUR	114	TURUMO I	137	510	1		
	115	TURUMO II	170	710	1		
	116	LIBERTAD I	660	1700	1		
	117	LIBERTAD II	256	776	1		
	118	VILLA GUACARA	179	525	1		
	119	LA LUCHA	527	2600	1		
	120	LAGO JARDIN	324	1270		1	
	121	MACARIO ESCORCHA	368	1365	1		
	122	CRISTO SALVA	240	1030	1		
	123	BANCO OBRERO	120	481	1		
	124	AMAZONIA	145	905	1		

	125	NUEVA GUACARA	222	1148	1		
TOTAL		12	3348	13020	11	1	0
C-25 YAGUA	126	LOS MANGOS	640	3000		1	
	127	SAN ESTEBAN	500	3700		1	
	128	ARAGUANEY I	127	372	1		
	129	ARAGUANEY II	800	4500	1		
	130	EL NARANJAL	91	182	1		
	131	LA MANGA	210	683	1		
	132	CABRITO ALIANZA SABANA	520	1200		1	
	133	VALLES DE YAGUA	319	2972	1		
	134	PRIMAVERA	537	686	1		
	135	CAMPO AMOR	160	800		1	
	136	SAMAN AZUCENA	265	744	1		
	137	FRANCISCO DE MIRANDA	700	1200	1		
	138	LOS GIRASOLES	535	851		1	
	139	LAS MANDARINAS	310	855		1	
	140	EL LIMON	173	879		1	
	141	LA MILAGROSA	94	285	1		
142	MARACAIBERO	171	515		1		
143	QUEBRADA HONDA	600	900	1			
144	EL PORVENIR	491	1454	1			
145	LOS NARANJOS	106	436		1		
146	LAS MALVINAS	154	504		1		
147	LOS ALMENDRONES	237	840	1			
TOTAL		22	7740	27558	12	10	0

Nota:(-) No hay registro

Fuente: Dirección de Desarrollo, Protección Social y Gestión Comunal, Procesado por la Dirección General de Gestión Externa, Alcaldía de Guacara.

ANEXO D

Estadísticas de Recarga del Acuífero del municipio Guacara.

ENERO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17496	174960000	100	-120.14	-111.02	9.11	-116.08	2.32
TOTAL:		174960000	100					

FEBRERO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-167.67	-160.91	6.76	-165.30	1.49
TOTAL:		175610000	100					

MARZO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-165.98	-157.59	8.39	-163.38	1.36
TOTAL:		175610000	100					

ABRIL 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-136.44	-115.07	21.37	-125.62	5.75
TOTAL:		175610000	100					

MAYO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-141.07	-100.50	40.58	-119.69	10.47
TOTAL:		175610000	100					

JUNIO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-102.00	-80.39	21.61	-93.86	5.70
TOTAL:		175610000	100					

JULIO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-28.09	17.72	45.81	1.38	10.37
TOTAL:		175610000	100					

AGOSTO 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	1170	11700000	6.66	27.83	50	22.17	40.49	6.01
3	3217	32170000	18.32	50.01	102.98	52.96	73.73	14.89
6	4785	47850000	27.25	103.02	178.00	74.98	148.20	22.11
8	8389	83890000	47.77	178.00	248.54	70.54	210.20	19.23
TOTAL:		175610000	100					

SEPTIEMBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
6	10651	106510000	60.65	124.77	178.00	53.23	157.16	15.25
8	6910	69100000	39.35	178.00	204.63	26.62	187.78	6.25
TOTAL:		175610000	100					

OCTUBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-67.56	-3.61	63.95	-32.06	14.74
TOTAL:		175610000	100					

NOVIEMBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-87.66	-64.01	23.65	-71.40	4.96
TOTAL:		175610000	100					

DICIEMBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-105.14	-100.14	5.00	-103.09	1.09
TOTAL:		175610000	100					

ENERO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-141.36	-140.42	0.94	-140.84	0.16
TOTAL:		175610000	100					

FEBRERO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-138.01	-136.00	2.01	-137.08	0.47
TOTAL:		175610000	100					

MARZO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-192.47	-185.28	7.19	-189.66	1.24
TOTAL:		175610000	100					

ABRIL 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	14661	146610000	83.49	2.23	50.00	47.77	31.43	13.32
3	2900	29000000	16.51	50.00	60.97	10.97	53.83	2.59
TOTAL:		175610000	100					

MAYO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
1	14592	145920000	83.09	-8.10	50.00	58.10	25.47	16.50	
3	2969	29690000	16.91	50.00	56.25	6.25	53.02	1.77	
TOTAL:		175610000	100						

JUNIO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
1	7463	74630000	42.50	-10.69	49.99	60.68	22.13	14.99	
3	9194	91940000	52.35	50.00	102.99	52.99	77.49	14.26	
6	904	9040000	5.15	103.00	113.51	10.51	107.09	2.81	
TOTAL:		175610000	100						

JULIO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
1	17561	175610000	100	20.75	48.36	27.61	32.87	7.10	
TOTAL:		175610000	100						

AGOSTO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
1	8759	87590000	49.88	-23.34	50.00	73.34	16.33	20.27	
3	8802	88020000	50.12	50.01	94.02	44.01	74.32	11.72	
TOTAL:		175610000	100						

SEPTIEMBRE 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
6	6085	60850000	34.65	139.49	178.00	38.51	160.85	10.94	
8	11476	114760000	65.35	178.00	219.34	41.34	194.91	9.95	
TOTAL:		175610000	100						

OCTUBRE 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
1	17561	175610000	100	-6.58	21.91	28.49	6.43	6.83	
TOTAL:		175610000	100						

NOVIEMBRE 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
8	17561	175610000	100	183.08	222.67	39.59	204.94	8.78	
TOTAL:		175610000	100						

DICIEMBRE 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
1	17561	175610000	100	-71.99	-69.01	2.98	-70.81	0.75	
TOTAL:		175610000	100						

ENERO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-66.08	-62.02	4.06	-63.67	0.88
TOTAL:		175610000	100					

FEBRERO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-78.85	-72.10	6.75	-75.44	1.75
TOTAL:		175610000	100					

MARZO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	-113.43	-99.06	14.36	-106.79	2.92
TOTAL:		175610000	100					

ABRIL 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
3	12873	128730000	73.30	91.76	103.00	11.24	98.85	2.63
6	4688	46880000	26.70	103.00	108.34	5.34	104.85	1.31
TOTAL:		175610000	100					

MAYO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
1	17561	175610000	100	9.27	27.25	17.98	17.08	3.72
TOTAL:		175610000	100					

JUNIO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
6	17561	175610000	100	162.25	172.10	9.85	167.77	2.06
TOTAL:		175610000	100					

ANEXO E

Estadísticas de Vulnerabilidad del Acuífero del Municipio Guacara.

ENERO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1201	12010000	6.93	43	64	21	51.61	7.42	
Bajo	4515	45150000	26.05	65	105	40	90.56	12.43	
Moderado	11617	116170000	67.01	106	138	32	117.41	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173350000	100						

FEBRERO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

MARZO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

ABRIL 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

MAYO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

JUNIO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

JULIO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147.00	0	
TOTAL:		173650000	100						

AGOSTO 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	993	9930000	5.72	43	64	21	49.83	6.91	
Bajo	3407	34070000	19.62	65	105	40	88.22	13.32	
Moderado	12491	124910000	71.93	106	146	40	125.55	8.62	
Alto	474	4740000	2.73	147	159	12	147.57	1.15	
TOTAL:		173650000	100						

SEPTIEMBRE 2015									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	3927	39270000	22.61	65	105	40	88.92	12.51	
Moderado	12227	122270000	70.41	106	142	36	118.84	8.85	
Alto	2	20000	0.01	151	151	0	151	0	
TOTAL:		173650000	100						

OCTUBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.580	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.531	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.402	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

NOVIEMBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

DICIEMBRE 2015								
Valor	Cantidad	Área (m²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

ENERO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	515798.00	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

FEBRERO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

MARZO 2016									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

ABRIL 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1168	11680000	6.73	43	64	21	51.46	7.26
Bajo	4429	44290000	25.51	65	105	40	91.53	12.86
Moderado	11766	117660000	67.76	106	138	32	117.54	8.05
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

MAYO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	949	9490000	5.47	47	64	17	52.69	5.58
Bajo	4784	47840000	27.55	65	105	40	90.61	12.55
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

JUNIO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	937	9370000	5.40	47	64	17	54.20	5.08
Bajo	4202	42020000	24.20	66	105	39	90.86	12.75
Moderado	12224	122240000	70.39	106	139	33	118.45	7.91
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

JULIO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

AGOSTO 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	949	9490000	5.47	47	64	17	52.69	5.58
Bajo	4316	43160000	24.85	66	105	39	90.88	12.95
Moderado	12098	120980000	69.67	106	139	33	118.18	8.17
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

SEPTIEMBRE 2016								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	811	8110000	4.67	51	64	13	55.04	4.21
Bajo	2939	29390000	16.92	66	105	39	87.68	12.75
Moderado	13096	130960000	75.42	106	146	40	125.47	9.06
Alto	519	5190000	2.99	147	159	12	147.52	1.11
TOTAL:		173650000	100					

OCTUBRE 2016								
Valor	Cantidad	Área (m²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

NOVIEMBRE 2016								
Valor	Cantidad	Área (m²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	664	6640000	3.82	55	63	8	57.34	2.34
Bajo	2428	24280000	13.98	65	105	40	85.81	11.38
Moderado	13744	137440000	79.15	106	146	40	125.26	9.61
Alto	529	5290000	3.05	147	159	12	147.51	1.11
TOTAL:		173650000	100					

DICIEMBRE 2016								
Valor	Cantidad	Área (m²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

ENERO 2017									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

FEBRERO 2017									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0	
TOTAL:		173650000	100						

MARZO 2017									
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar	
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42	
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45	
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22	
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147.00	0.00	
TOTAL:		173650000	100						

ABRIL 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	949	9490000	5.47	47	64	17	52.70	5.59
Bajo	3564	35640000	20.52	66	105	39	89.35	13.56
Moderado	12850	128500000	74.00	106	145	39	121.13	8.42
Alto	2	20000	0.01	151	151	0	151	0
TOTAL:		173650000	100					

MAYO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	1209	12090000	6.96	43	64	21	51.58	7.42
Bajo	4524	45240000	26.05	65	105	40	90.53	12.45
Moderado	11630	116300000	66.97	106	138	32	117.40	8.22
Alto	2	20000	0.01	147	147	0	147	0
TOTAL:		173650000	100					

JUNIO 2017								
Valor	Cantidad	Área (m ²)	(%)	Mín.	Máx.	Rango	Media	Desviación Estándar
Muy Bajo	811	8110000	4.67	51	64	13	55.04	4.21
Bajo	3322	33220000	19.13	66	105	39	89.39	12.90
Moderado	13230	132300000	76.19	106	146	40	123.55	9.21
Alto	2	20000	0.01	155	155	0	155	0
TOTAL:		173650000	100					