

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
ESCUELA DE FÍSICA
MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA



TESIS

“ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS MEDIANTE LOS MÉTODOS DRASIC Y GOD PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO GUACERIQUE A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATOS, NITRITOS Y AMONIO”

PRESENTA: EDUARDO DAVID ORDOÑEZ REYES

**PREVIA OPCIÓN AL GRADO DE MÁSTER EN:
RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA**

ASESORES: Msc. TANIA MARÍA PEÑA PAZ

Msc. MANUEL DE JESÚS RODRÍGUEZ MARADIAGA

TEGUCIGALPA, M.D.C.

HONDURAS, C.A.

Enero, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
ESCUELA DE FÍSICA
MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA
Ciudad Universitaria, Tegucigalpa, Honduras.



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS:

MÁSTER: FRANCISCO JOSE HERRERA ALVARADO
RECTOR

Dra. JESSICA PATRICIA SÁNCHEZ MEDINA
SECRETARÍA GENERAL

DOCTOR: ARMANDO EUCEDA
DIRECTOR DE POSTGRADOS

MÁSTER: TANIA PEÑA
COORDINADOR DE LA MAESTRÍA

MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA

Enero, 2024

RESUMEN

Es necesario determinar los niveles de vulnerabilidad de acuíferos ubicados en la Subcuenca del Río Guacerique, es necesario para la gestión hídrica efectiva, en términos de calidad. En los últimos años esta gestión se ha visto afectada por la intervención antropogénica. La metodología consistió en la medición del nivel freático de pozos malacates, levantamiento geofísico (tomografía eléctrica), muestreo de compuestos nitrogenados y la recopilación de información base. El área de estudio muestra una heterogeneidad, en especial en las rocas volcánicas, el cual presenta fracturas, con la existencia de acuíferos someros. En el caso de las rocas sedimentarias el nivel freático es consistente en toda la formación, con algunas zonas con mayor profundidad. En cuanto al nivel de vulnerabilidad de acuífero, para el DRASTIC, 7.06 % del territorio tiene un nivel de vulnerabilidad bajo, el 89.00% tiene una susceptibilidad moderada y el 3.94% es alta. En el GOD más del 82.09% de los acuíferos presentes en la subcuenca su vulnerabilidad es alto. En los nitratos y nitritos en la mayoría de los puntos muestreados tiene un comportamiento casi neutral por debajo de los valores máxima admisible y recomendado. En el amonio la mayor parte de la subcuenca está por arriba del valor recomendado cercano a la cantidad máxima admisible. Al comparar los resultados del muestreo de nitrogenados y de vulnerabilidad de acuíferos, encontramos que para la época de verano tanto los nitratos y nitritos no representan un riesgo de contaminación; sin embargo el amonio, representa una alta amenaza para los acuíferos que están dentro de la subcuenca.

ABSTRACT

It is necessary to determine the vulnerability levels of aquifers located in the Guacerique River Subbasin, it is necessary for effective water management, in terms of quality. In recent years this management has been affected by anthropogenic intervention. The methodology consisted of measuring the water table of winch wells, geophysical survey (electrical tomography), sampling of nitrogenous compounds and the collection of base information. The study area shows heterogeneity, especially in the volcanic rocks, which present fractures, with the existence of shallow aquifers. In the case of sedimentary rocks, the water table is consistent throughout the formation, with some areas being deeper. Regarding the level of aquifer vulnerability, for DRASTIC, 7.06% of the territory has a low level of vulnerability, 89.00% has a moderate to susceptibility and the 3.94% is high. In the GOD, more than 79.01% of the aquifers present in the subbasin are highly vulnerable. In nitrates and nitrites in most of the sampled points it has an almost neutral behavior below the maximum admissible and recommended values. In ammonia, most of the sub-basin is above the recommended value, close to the maximum admissible amount. When comparing the results of the nitrogen and aquifer vulnerability sampling, we found that for the summer season, both nitrates and nitrites do not represent a contamination risk; However, ammonium represents a high threat to the aquifers that are within the sub-basin.

Tabla de Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
Índice de Ecuaciones.....	7
Índice de Gráficos	8
Índice de Ilustraciones	8
Índice de mapas	10
Índice de tablas	11
Abreviatura.....	15
AGRADECIMIENTOS.....	16
INTRODUCCIÓN	17
1. CAPÍTULO I: Delimitación del problema.....	18
1.1 Descripción de la problemática:	18
1.2 Justificación de la investigación.....	19
1.3 Límites de la investigación.....	21
1.3.1 Límites de recursos	21
1.3.2 Límites de tiempo.....	22
1.3.3 Limite espacial.....	22
1.4 Definición del problema.....	22
2. CAPITULO II: Objetivos	25
2.1 Objetivo general:	25
2.2 Objetivos específicos:	25
3. CAPITULO III: Marco de Referencia	26
3.1 Marco político.....	26
3.2 Marco teórico.....	27
A. Recursos hídricos.....	27
B. Determinación de la infiltración y recarga hídrica	28
C. Acuíferos desde el punto de vista hidráulico	33

D.	Acuíferos desde el punto de vista geológico	33
E.	Parámetros hidráulicos del acuífero.....	34
F.	Zona saturada y no saturada.....	34
G.	Técnicas para determinar los parámetros hidráulicos	36
H.	Métodos Geofísicos.....	37
I.	Hidroquímica.....	40
J.	Nutrientes	40
K.	Vulnerabilidad de acuífero y contaminación.....	41
L.	Métodos en vulnerabilidad de acuíferos	42
M.	Usos de los sistemas de información geográfica en la vulnerabilidad de acuíferos.....	44
4.	Capitulo IV: Descripción del medio.....	46
4.1	Descripción socioeconómica	46
A.	Población	46
B.	Salud.....	46
C.	Actividades económicas	47
D.	Agua Potable y saneamiento básico	47
E.	Tenencia de tierras.....	47
4.2	Descripción biofísica	48
A.	Clima.....	48
B.	Topografía y pendiente	51
C.	Morfología	52
D.	Geología.....	53
E.	Suelos	55
F.	Cobertura de uso del suelo.....	56
G.	Hidrología.....	58
H.	Hidrogeología	59
I.	Hidroquímica.....	61

5.	Capítulo V: Metodología.....	63
5.1	Tipo de investigación	63
5.2	Hipótesis de la investigación	63
5.3	Diseño de la investigación	63
	A. Recopilación información secundaria.....	64
	B. Trabajo de campo.....	64
	C. Procesamiento de datos.....	67
	D. Determinación de vulnerabilidad según DRASTIC y GOD.....	67
6.	CAPITULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	82
6.1	Caracterización de las propiedades intrínsecas del terreno involucradas en el DRASTIC y GOD 82	
	A. Depth (D).....	82
	B. Recarga Hídrica Neta (R).....	88
	C. Litología del Acuífero (A).....	91
	D. Tipo de Suelo (S).....	92
	E. Topografía (T).....	92
	F. Naturaleza de la Zona No Saturada (I).....	93
	G. Conductividad Hidráulica (C).....	94
6.2	Modelo de vulnerabilidad intrínseca y específica para los acuíferos de la subcuenca, empleando los métodos DRASTIC y GOD.	97
	A. DRASTIC.....	97
	B. GOD.....	104
6.3	Evaluación de los nitratos, nitritos y amonio y su correlación con los grados de vulnerabilidad identificados a través de los modelos.	106
7.	Discusión.....	112
8.	Conclusiones.....	115
9.	Recomendaciones.....	117
10.	Contribuciones científicas.....	118

11.	BIBLIOGRAFÍA	120
12.	ANEXOS.....	129
	Anexo 1. Proporción de viviendas que cuenta con agua, Subcuenca del Río Guacerique	129
	Anexo 2. Proporción de viviendas que cuenta con sistema de disposición de excretas, Subcuenca del Río Guacerique.	129
	Anexo 3. Datos teóricos de conductividades hidráulicas.....	130
	Anexo 5. Perfiles geofísicos	132
	Anexo 6. Precipitaciones	135
	Anexo 7. Temperaturas máximas	144
	Anexo 8. Temperatura mínima.....	149
	Anexo 9. Serie de Tiempo de Precipitaciones.....	154
	Anexo 10. Serie de tiempo de temperatura máximas.....	161
	Anexo 11. Serie de Tiempo de Temperatura Mínimas.....	169
	Anexo 12. Balance climático	177
	Anexo 13. Coeficiente de infiltración.....	177
	Anexo 14. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio.....	179
	Anexo 15. Fotografías trabajo de campo	188

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Coeficiente de Infiltración.....	28
Ecuación 2. Coeficiente de infiltración modificado, por factor de retención del follaje.....	29
Ecuación 3. Estimación de Datos Faltantes por la Razón Normal.....	30
Ecuación 4. Método de Thornthwaite.	31
Ecuación 5. Índice Térmico.	31
Ecuación 6. Coeficiente de Ajuste.	32
Ecuación 7. Evapotranspiración Real.	32
Ecuación 8. Ley Ohm, relación entre voltaje, corriente y resistencia.	37
Ecuación 9. Formula Resistividad Eléctrica.....	38
Ecuación 10. Formula ajustada Ley de Ohm.....	39

Ecuación 11. Ley de Ohm modificada, en aplicación a la geofísica.	39
Ecuación 12. Reclasificación del nivel freático, para los Datos de Ponderación (Dr) según DRASTIC.	68
Ecuación 13. Reclasificación de la Recarga Hídrica.....	70
Ecuación 14. Reclasificación del mapa de pendiente según índice de vulnerabilidad.	74
Ecuación 15. Reclasificación de la Conductividad Hidráulica.	77
Ecuación 16. Reclasificación de la Profundidad del Nivel Freático según GOD.	80
Ecuación 17. Índice de Vulnerabilidad de Acuífero según DRASTIC.	80

Índice de Gráficos

Gráficos 1. Temperatura a nivel mensual Subcuenca del Río Guacerique.	48
Gráficos 2. Precipitación a nivel mensual Subcuenca del Río Guacerique.	49
Gráficos 3. Variación mensual de los valores ETP.....	50
Gráficos 4. Ubicación de puntos muestreos según nivel de vulnerabilidad en DRASTIC.....	109
Gráficos 5. Ubicación de puntos muestreos según nivel de vulnerabilidad en GOD.	109

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Arreglos y Configuración electródica diseñadas.....	39
Ilustración 2. Diagrama de Piper Subcuenca del Rio Guacerique.	62
Ilustración 3. Proceso de Elaboración de la Tesis.....	63
Ilustración 4. Método GOD valoración numérica.	78
Ilustración 5. Tipo de terreno y permeabilidad para un acuífero poroso, Custodio y Llamas (1986).	131
Ilustración 6. Perfil 1: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Laguna del Pedregal.....	132
Ilustración 7. Perfil 2: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Ciudad Mateo.....	132
Ilustración 8. Perfil 3: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Tres Pasos.	132
Ilustración 9. Perfil 4: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Upare.	133
Ilustración 10. Perfil 5: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, La Calera.	133
Ilustración 11. Perfil 6: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Tierra Colorada.....	133

Ilustración 12. Perfil 7: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Quiscamote	134
Ilustración 13. Perfil 8: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, El Llano.	134
Ilustración 14. Perfil 9: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Rincón de Dolores.....	134
Ilustración 15. Perfil 10: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Macuelizo.....	135
Ilustración 16. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Batallón.	154
Ilustración 17. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Concepción.	155
Ilustración 18. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Escarbadero.	155
Ilustración 19. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación La Brea.....	156
Ilustración 20. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Las Sabanas.	157
Ilustración 21. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Quiebramontes.	158
Ilustración 22. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Rincón de Dolores.....	159
Ilustración 23. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional (SMN).	160
Ilustración 24. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Batallón.	161
Ilustración 25 Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Concepción.	162
Ilustración 26. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Escarbadero.	163
Ilustración 27. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación La Brea.....	164
Ilustración 28. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Las Sabanas.	165
Ilustración 29. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Quiebramontes.	166
Ilustración 30. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Rincón de Dolores.....	167
Ilustración 31. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional (SMN).....	168
Ilustración 32. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Batallón.....	169
Ilustración 33. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Concepción.	170
Ilustración 34. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Escarbaderos.....	171
Ilustración 35. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación La Brea	172
Ilustración 36. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Las Sabanas.....	173
Ilustración 37. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Quiebramontes.	174
Ilustración 38. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Rincón de Dolores.	175

Ilustración 39. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Tegucigalpa- Servicio Meteorológico Nacional (SMN).....	176
Ilustración 40. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 1.....	179
Ilustración 41. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 2.....	180
Ilustración 42. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 3.....	181
Ilustración 43. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 4.....	182
Ilustración 44. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 5.....	183
Ilustración 45. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 6.....	184
Ilustración 46. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 7.....	185
Ilustración 47. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 8.....	186
Ilustración 48. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 9.....	187
Ilustración 49. Muestreo de compuestos nitrogenados.....	188
Ilustración 50. Levantamiento geofísicos, método de tomografía eléctrica.....	189

Índice de mapas

Mapa 1. Mapa de Precipitaciones Subcuenca del Rio Guacerique.....	49
Mapa 2. Evapotranspiración potencial.....	50
Mapa 3. Elevaciones Guacerique.....	51
Mapa 4. Pendiente Subcuenca del Río Guacerique.....	52
Mapa 5. Morfología Subcuenca del Rio Guacerique.....	53
Mapa 6. Geología Subcuenca del Río Guacerique,.....	55
Mapa 7. Clases Texturales de Suelos Subcuenca del Río Guacerique.....	56
Mapa 8. Cobertura de Uso del Suelo Subcuenca del Río Guacerique.....	58
Mapa 9. Hidrogeología Subcuenca del Rio Guacerique.....	60
Mapa 10. Ubicación de muestreo nivel Freático Subcuenca del Rio Guacerique.....	82
Mapa 11. Nivel Freático Subcuenca del Rio Guacerique.....	87
Mapa 12. D (Depth to Ground Water) Profundidad del Agua Subterránea.....	88
Mapa 13. Evapotranspiración Real.....	89
Mapa 14. Recarga Hídrica de la Subcuenca.....	90
Mapa 15. R (recharge) Recarga neta del Acuífero.....	90
Mapa 16. Litología del Acuífero (A).....	91
Mapa 17. Tipo de Suelo (S).....	92
Mapa 18. Topografía (T).....	93

Mapa 19. I (Naturaleza de la Zona No Saturada).....	94
Mapa 20. Conductividad Hidráulica, elaborado con parámetros teóricos.	96
Mapa 21. (C) Conductividad Hidráulica.	97
Mapa 22. Vulnerabilidad de Acuíferos según DRASTIC.	98
Mapa 23. Delimitación de los Acuíferos por su Grado de Confinamiento, Subcuenca del Río Guacerique.	101
Mapa 24. G (Grado de Confinamiento).	102
Mapa 25. (O) Litología de la Cobertura.	103
Mapa 26. D (Profundidad del Agua Subterránea).	104
Mapa 27. GOD.	105
Mapa 28. Comparación del nivel de amenaza de contaminación por compuestos nitrogenados y los modelos de vulnerabilidad de acuífero según DRASTIC y GOD	109
Mapa 29. Balance climático.	177
Mapa 30. Infiltración, a) K_v , b) K_p , c) K_{fc} y d) Coeficiente de infiltración.....	178

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Coeficiente de Infiltración Propuesto.</i>	29
Tabla 2. Coeficiente de ajuste por horas de sol según la latitud de la estación.....	32
Tabla 3. Resistividad de algunos materiales, ohm-metros.	38
Tabla 4 Distribución poblacional de los habitantes en la Subcuenca del Río Guacerique	46
Tabla 5 Características Morfométricos de la Subcuenca del Rio Guacerique.	53
Tabla 6. Clases texturales del suelo.	56
Tabla 7. Mapa de uso y cobertura de uso del suelo, Subcuenca del Río Guacerique.	57
Tabla 8. Microcuencas del Rio Guacerique	58
Tabla 9. Proporción de las formaciones hidrogeológicas, Subcuenca del Río Guacerique.	60
Tabla 10. Cantidad de sitios muestreados para determinar los valores físicos químicos de la subcuenca.	62
Tabla 11. Profundidad del Nivel Freático.	68
Tabla 12. Estaciones Meteorológicas.	69
Tabla 13. Recarga Hídrica Neta.....	70
Tabla 14. Rango de resistividad eléctrica y tipo de material geológico	71
Tabla 15. Rango de resistividad eléctrica y tipo de material geológico.....	72
Tabla 16. Litología del Acuífero.	72

Tabla 17. Clases Texturales del Suelo,.....	73
Tabla 18. Tipo de Suelo.....	74
Tabla 19. Topografía.....	74
Tabla 20. Naturaleza de la Zona No Saturada.....	75
Tabla 21. Valores teóricos de conductividad hidráulica propuestos.....	76
Tabla 22. Conductividad Hidráulica.....	76
Tabla 23. Coeficiente de Almacenamiento.....	79
Tabla 24. Valores teóricos del coeficiente de almacenamiento, en función del tipo de material rocoso.	79
Tabla 25. Peso de Ponderación para Plaguicidas y No Plaguicidas.....	80
Tabla 26. Rango de vulnerabilidad.....	81
Tabla 27. Nivel Freático de los puntos de muestreo. PM: Pozo Malacate, LRGUA: Tomografía Eléctrica, PN: Potencial Natural; Quebramontes y Pollera (SEV), M: Manantial; LL y ND: Manantial Inventario IHCIT.....	86
Tabla 28. Litología del Acuífero según DRASTIC.....	91
Tabla 29. Valores teóricos de conductividad hidráulica para cada punto de muestreo.....	95
Tabla 30. Porcentaje del territorio según su nivel de vulnerabilidad, DRASTIC.....	98
Tabla 31. Tipo de Confinamiento y Valores Teóricos de Coeficiente de Almacenamiento Especifico para Cada Punto de Muestreo.....	100
Tabla 32. Litología de la cobertura y pesos de ponderación según GOD.....	102
Tabla 34. Porcentaje del Territorio según su Nivel de Vulnerabilidad, GOD.....	105
Tabla 34. Lugares de muestreo y resultados de compuestos nitrogenados.....	107
Tabla 35. Nivel de amenaza compuestos nitrogenados.....	109
Tabla 36. Proporción de viviendas que cuenta con agua de las aldeas que están dentro de la Subcuenca del Río Guacerique.....	129
Tabla 37. Proporción de viviendas que cuenta con sistema de disposición de excretas de las aldeas que están dentro de la Subcuenca del Río Guacerique.....	130
Tabla 38. Conductividad hidráulica de las unidades hidroestratigráficas del acuífero de San Salvador.	130
Tabla 39. Conductividad hidráulica Islas Canarias.....	131
Tabla 40. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de agosto del año 2021.....	136

Tabla 41. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de septiembre del año del Año 2021.	137
Tabla 42. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de octubre del año 2021.	138
Tabla 43. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de noviembre del año 2021.	138
Tabla 44. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de diciembre del año 2021.	139
Tabla 45. Estación Quebramontes, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 1990.	140
Tabla 46. Estación Quebramontes, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 2019.	141
Tabla 47. Estación Quebramontes relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 2020.	142
Tabla 48. Estación Quebramontes, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 2021.	143
Tabla 49. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de agosto del año 2021.	144
Tabla 50. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de septiembre del año 2021.	145
Tabla 51. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de octubre del año 2021.	146
Tabla 52. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de noviembre del año 2021.	147
Tabla 53. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de diciembre del año 2021.	148
Tabla 54. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de agosto del año 2021.	149
Tabla 55. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de septiembre del año 2021.	150
Tabla 56. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de octubre del año 2021.	151
Tabla 57. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de noviembre del año 2021.	152

Tabla 58. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de diciembre del año 2021..... 153

Abreviatura

CEDEX	Centro de Estudios Hidrográficos
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
DEM	Modelo de Elevación Digital
EPA	Agencia de Protección Ambiental, siglas en ingles.
ETP	Evapotranspiración Potencial
ETR	Evapotranspiración Real
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
ICF	Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre
IDW	Distancia Inversa Ponderada
IHCIT	Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
INE	Instituto Nacional de Estadística
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
K _{fc}	Fracción que infiltra por textura del suelo
K _v	Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal
K _p	Fracción que infiltra por efecto de pendiente
M _{snm}	Metros sobre el Nivel del Mar
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PN	Potencial Natural
REDD +	Reducción de las Emisiones Derivadas de la Deforestación y la Degradación de los Bosques, más la Gestión Sostenible de los Bosques, y la Conservación y el Aumento de las Reservas Forestales de Carbono
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados
SEV	Sondeos Eléctrico Vertical
SIG	Sistema de Información Geográfica
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
TIN	Red Irregular Triangular
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en Ingles.
UTM	Universal Transversal Mercator

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias al creador por darme la oportunidad de terminar esta etapa académica de mi vida.

A mi hijo y esposa por el apoyo incondicional en estos años para poder culminar mi maestría.

Al Msc Jainer Argeñal y al SANAA por el apoyo logístico brindado, en la obtención de los datos campo en la subcuenca, además de la facilitación de información base, para la obtención de las variables en estudio.

A mis Asesores por la ayuda y guía en todas las inquietudes para el desarrollo de la presente tesis.

Al IHCIT por el apoyo académica, técnico y logístico para la realización de la presente investigación

INTRODUCCIÓN

La gestión integral de las cuencas como zonas abastecedoras de agua, es un tema de prioridad en el país, debido a los diversos servicios ecosistémicos que ofrece como abastecimiento de agua potable, turismo, producción agrícola, energías renovables, entre otros (World Resources Institute, 2005). Sin embargo, en los últimos años ha sufrido presiones antropogénicas que afecta la cantidad y calidad de los recursos hídricos tanto superficiales y subterráneos (Vörösmarty et al., 2010).

A nivel de cuenca hidrográficas, la diversidad de acuíferos, clasificados según el tipo de material (poroso o fracturado) y las características hidráulicas (grado de confinamiento y permeabilidad), presentan grados variables de vulnerabilidad a la contaminación originada desde la superficie (Fetter, 2001). En particular, las actividades industriales, agrícolas y la descarga de aguas residuales domésticas representando las principales fuentes de contaminación antropogénica que, al infiltrarse, pueden alterar las propiedades fisicoquímicas del medio subterráneo (Nolan & Hitt, 2006).

Entre los contaminantes de mayor preocupación se encuentran los compuestos nitrogenados (nitritos, nitratos y amonio), cuya movilidad y persistencia en el medio acuático dificultan su remediación efectiva (Spalding, & Exner, 1993). En este contexto, los modelos de vulnerabilidad de acuíferos surgen como herramientas estratégicas para la gestión sostenible del recurso, enfocando los esfuerzos en la prevención (Aller et al., 1987). Métodos como DRASTIC y GOD, que incorporan variables para evaluar la capacidad de atenuación del medio frente a determinados contaminantes, se destacan entre las técnicas más empleadas.

La presente investigación “*Estudio de vulnerabilidad de acuíferos mediante los métodos DRASTIC y GOD para la Subcuenca del Rio Guacerique a la contaminación por nitratos, nitritos y amonio*” tiene por objetivo la construcción de dos modelos de vulnerabilidad de acuífero para la gestión del territorio hacia cualquier tipo de contaminante, en especial los compuestos nitrogenados.

1. CAPÍTULO I: Delimitación del problema

1.1 Descripción de la problemática:

El recurso hídrico es el epicentro del desarrollo sostenible; y fundamental para el desarrollo socioeconómico, energía, alimentos, ecosistema y en general la supervivencia de la vida humana (ONU, 2022). Sin embargo son afectados por muchos factores estresantes como ser; el cambio climático, el aumento de la población, el desarrollo socioeconómico, crecimiento urbano y el cambio de uso del suelo, desafiando la sostenibilidad de los recursos hídricos disminuyendo su disponibilidad y aumentando la demanda (Jiménez Cisneros et al., 2014).

Esta intervención antropogénica ha ocasionado sobreexplotación y contaminación de los recursos hídricos disminuyendo su resiliencia a los embates del cambio climático, esto ha comprometido gravemente la vida y la salud humana, así como el bienestar de los ecosistemas. También la escasez hídrica tiene un impacto directo desde la perspectiva de su calidad, ya que su disminución causa una mayor carga de contaminantes en el medio (Jiménez Cisneros et al., 2014).

Hay que destacar que la actividad antropogénica como la agricultura el crecimiento urbano (descarga de aguas residuales) son las principales fuentes de contaminación hídrica, siendo una amenaza latente para la salud de las personas y de los ecosistemas (Arizabalo & Díaz, 1991). Además, la contaminación se puede considerar como un factor importante de escasez de agua, ya que es un recurso que no se puede disponer sin antes de tener un tratamiento costoso y complejo de potabilización (FAO, 2013).

Honduras cuenta con 25 cuencas hidrográficas (Alianza Biodiversity & CIAT, 2021) las cuales sufren graves impactos en su calidad debido a las sequias, perdida de bosque, la contaminación de origen humano y la sobreexplotación del recurso (Padilla & Barahona, 2012).

La contaminación en las cuencas del país, se da por la actividad antropogénico, cuyas principales fuentes son las descargas sin tratar de aguas residuales de origen doméstico e industrial y la actividad agrícola que aporta cantidades importantes de solutos derivados de la lixiviación de los fertilizantes y plaguicidas (MiAmbiente +, 2014).

La Cuenca del Rio Choluteca es una de las principales fuentes hídricas que drenan a la vertiente del pacifico, esta contiene núcleos poblacionales muy importantes agrupadas en ciudades grandes e intermedia, cuyos requerimientos diarios de agua supera la capacidad instalada por los prestadores de servicios, aunado a la escasas hídrica causadas por las sequias prolongadas y la contaminación de sus

fuentes de agua debido a la descarga de aguas residuales de origen doméstico y las sustancias derivada de la actividad agrícola, dificultando aún más al acceso a tan vital recurso (MiAmbiente +, 2014).

Dentro de la cuenca del río Choluteca una de las principales fuentes hídricas es la Subcuenca del Río Guacerique, la cual presenta graves problemas en su calidad debido a las prácticas agrícolas no sostenibles y el crecimiento urbano no planificado, expandiéndose a zonas de importancia biofísica como ser sus zonas de recarga hídrica, cauces de ríos y quebradas, entre otros (ICF & SANAA, 2012).

Esto ha generado altos contenidos de sedimentos y nutrientes (nitrógeno y fósforo) que deteriora la calidad de agua que llega a las obras de toma de los Laureles (Argeñal, 2019), que también contamina el agua subterránea de la subcuenca debido a la presencia de compuestos nitrogenados. En el *“Estudio Hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del Río Choluteca, año 2021, página 107”* en la Subcuenca del Río Guacerique se encontró valores de nitratos 5 a 25 mg/l cercanos a los valores recomendados según la normativa técnica nacional.

Los acuíferos son altamente vulnerables por sustancias que provienen de la superficie en especial aquellas que se movilizan con facilidad en el medio subterráneo como los compuestos nitrogenados, estos al resurgir en manantiales, ríos, quebradas o embalses aportan una cantidad importante de solutos que afectan la salud de la población y sus ecosistemas; causando graves impactos como ser el síndrome del niño azul o metahemoglobinemia infantil (Larios et al., 2014) y la eutrofización de los cuerpos de agua.

También el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas en la Subcuenca del Río Guacerique, disminuye la capacidad de resiliencia de sus ecosistemas y comunidades ante los impactos del cambio climático, dejándolos expuestos a los efectos de las sequías e inundaciones, pérdida de la biodiversidad, deterioro de los servicios ecosistémicos y el aumento de enfermedades de origen hídrico.

1.2 Justificación de la investigación.

La Subcuenca del Río Guacerique produce el 25% del agua potable que consume la población de la capital con una oferta hídrica aproximada de 61,007,338 m³/año. Además, dentro de la subcuenca existe 21 comunidades (aproximadamente 2038 viviendas), donde el 54% se abastecen con agua de tubería, 22% con pozos comunales y el 24% tienen que acarrearla de quebradas y nacientes adyacentes a sus viviendas (ICF & SANAA, 2012). Así como se mencionó, las fuentes subterráneas juegan un papel importante en el abastecimiento de agua para las comunidades y para otras

actividades que son parte del medio de vida de las personas como ser la agricultura y para uso de carácter privado (Llenado de pipas de agua)¹.

El abastecimiento del agua por parte de estas comunidades y la población de Tegucigalpa y Comayagüela es afectado por la contaminación que infiltra desde la superficie a y debido a la dinámica hídrica subterránea, en su recarga y descarga ya sea cuerpos superficiales u otros acuíferos, aporta una carga importante de contaminante. Las aguas subterráneas son vulnerables a la contaminación desde la superficie, donde los nutrientes (nitritos, nitratos y amonio) son altamente móviles y persisten en el medio hidrogeológico (Aller et al., 1987).

La agricultura es una de las actividades humanas que altera las características químicas del agua, el cual aporta cantidades importantes de nitrógeno y fósforo al medio subterráneo (Aller et al., 1987). Según estudios se han estimado una cantidad de 551, 046.282 Kg/año de carga y exporte de fósforos y 548, 216.588 para nitrógeno en la subcuenca del Río Guacerique (Argueñal, 2019). Este nitrógeno en sus formas iónicas (nitritos, nitratos, amoniaco y amonio) es lixiviado por el agua e infiltrado hasta llegar al medio subterráneo.

En medio sub-superficial en la Subcuenca del Río Guacerique para la época lluviosa los nitratos pueden alcanzar concentraciones máximas de 25 mg/l, nitritos 0.05 mg/l, amoniaco 1.5 mg/l y para el amonio en la época seca con valores mayores a los 0.5 mg/l (IHCIT, 2014).

Por tal razón, es necesario el desarrollo de herramientas de gestión y de toma de decisiones a nivel territorial, que según su condición pueden ser vulnerable a la contaminación, esto se realiza a través de mapas de vulnerabilidad, los cuales sirven como un instrumentos para identificar zonas donde se necesita más investigación hidrogeológica detallada y las medidas prioritarias de protección ante una amenaza de contaminación para las aguas subterráneas (Foster et al., 2013).

La modelación DRASTIC y GOD provee de mapas temáticos que son de utilidad en la gestión ambiental para las áreas de interés hidrográfica y subterráneas, facilitando a los tomadores de decisiones contar con una herramientas de gestión territorial, que al ser aplicado puede prevenir ciertas actividades no compatibles con sus objetivos de conservación, orientando esfuerzos para promover conductos más amigables con el medio ambiente, en estas zonas expuestas a la contaminación desde la superficie.

¹ IHCIT (2022). Según Censo de pozos se cuenta 15 pozos malacates y 20 perforados,.

1.3 Límites de la investigación

Se analizaron diferentes variables climáticas como ser la precipitación y evapotranspiración y su variación mensual y anual de las series de datos de las estaciones meteorológicas del área de estudio para determinar los valores de infiltración que se realiza según la temporalidad definida. También en el levantamiento de datos geofísicas y el muestreo de nitratos, nitritos y amonio, el cual se realizó en la época seca para analizar las condiciones del medio hidrogeológico.

1.3.1 Límites de recursos

Dentro de las limitaciones de datos, solo se cuenta con información de 9 estaciones climatológicas² con una serie de datos de precipitación y temperatura que varían de 10 a 30 años de información. Lo cual limita el análisis de estas variables según las recomendaciones que da la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que se debe usar una serie de datos no menor a 30 años. Además, no se cuenta con un mapa detallado de la litología de la zona.

En cuanto a la piezometría y nivel freático, en la Subcuenca del Río Guacerique no se cuenta con un detalle de las mismas. Solo se cuenta con 4 levantamientos geofísicos como línea base, los cuales son insumos para determinar la piezometría y litología del medio.

Se tiene un censo pozos con alrededor de 35 puntos inventariados, de estos 15 son malacate y los restantes son perforados. De los 15 pozos malacate 9 cuenta con el nivel freático. Además, en la subcuenca no existen datos de las variables hidráulicas del medio subterráneo (coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica).

Para el desarrollo de trabajo de campo se utilizó un GPS Marca Garmin, equipo de levantamiento geofísico, vehículo Toyota 4x4 facilitada por el Departamento de Cuencas del SANAA para el traslado de los sitios de muestreo y equipo de análisis de laboratorio utilizado por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) para determinar las concentraciones de nitritos, nitratos y amonio de las muestras. Una de las limitaciones son los recursos financieros, se presupuestó una cantidad de L 78,020.00 lo cual limita cantidad muestras y el levantamiento geofísico realizado.

² IHCIT, SANAA (2022). Batallón, La Brea, Quebramontes, Ocote bonito, Las Sabanas, Rincón de Dolores, Escarbaderos, Concepción y Tegucigalpa-SMN.

Otra limitación que hay que resaltar, es la facilidad de realizar el trabajo de campo, ya que algunos propietarios de los terrenos de estuvieron renuente en facilitar el acceso para realizar los muestreos de aguas y los levantamientos geofísicos.

1.3.2 Límites de tiempo

El muestreo de nitratos, nitritos y amonio, y el levantamiento geofísico se realizó en el mes de abril del año 2022 época seca, con aproximadamente tres semanas de trabajo de campo. En total el procesamiento de datos, trabajo de campo y redacción de tesis comprendió 12 meses o un año.

1.3.3 Limite espacial

El área de estudio se limita a la Subcuenca del Río Guacerique ubicado al suroeste de las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela y forma parte de la cuenca del Río Choluteca en su parte alta. La subcuenca tiene una área aproximada de 210.63 km², equivalentes a 21,063 hectáreas.

1.4 Definición del problema

Para poder entender sobre la vulnerabilidad de acuífero, hay que tener claro diferentes conceptos que engloban la problemática. La contaminación ambiental se puede definir como el ingreso o aumento de una componente, sea natural o artificial que cuya cantidad puede afectar el equilibrio o salud del medio ambiente. La contaminación se divide en diferentes tipos según el medio que actúa y su origen. Cuando hablamos del medio es el aire, agua o suelo; y en este caso en el medio subterráneo (acuíferos de la zona de estudio). Cuando detallamos según su origen es la contaminación química, física y biológica. En el caso de los nutrientes y en especial los nitratos, nitritos y amonio se engloban en la contaminación química.

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta (Foster & Hirata, 1991). Las aguas subterráneas más vulnerables a un contaminante son las que están expuestas debido a que el suelo, subsuelo y la litología del medio no proveen una adecuada protección existiendo una rápida transferencia de solutos, como por ejemplo las zonas de recarga hídrica de acuíferos pocos profundos (Gogu & Dassargues, 2000).

El suelo juega un papel importante en la atenuación de un potencial contaminantes que se infiltra por la acción de la recarga hídrica, esa capacidad depende de la cantidad de arcillas y contenido húmico, ya que facilita los procesos de sorción y difusión, que ayuda a disminuir la carga de solutos que puede

llegar a la zona saturada (Aller et al., 1987). En caso de los suelos ausentes o delgados y arenosos con contenido de grava y tiene un potencial de contaminación significativo debido a su alta permeabilidad.

La litología y/o geología del medio saturado y no saturado influyen en el grado de vulnerabilidad del agua subterránea. Las rocas volcánicas y metamórficas tienen una porosidad primaria muy baja, pero su vulnerabilidad depende del grado de fracturación del medio. En el caso de las rocas volcánicas jóvenes debido a su alto contenido de fractura tiene poca capacidad de atenuación de una carga contaminante (Foster & Hirata, 1991). Al igual que el suelo el tiempo de retención del agua que se infiltra en la zona no saturada produce una interacción entre los minerales de la roca y la sustancia contaminante, esto aumenta la capacidad de sorción, sin embargo, al existir mayor porosidad y permeabilidad la capacidad de atenuación disminuye.

La vulnerabilidad de acuífero en Honduras constituye una situación que requiere ser abordado con prioridad, ya que la geología del país lo hace altamente susceptible a la contaminación desde la superficie, donde el área de estudio no es la excepción, debido a que la mayor parte de la Subcuenca tiene la presencia de roca volcánica joven alterada, sumado a esto, las actividades antropogénicas que puedan representar una amenaza por la carga de contaminantes que pueden descargar en el medio circundante.

La Subcuenca del Río Guacerique debido a la morfología del terreno, sus características edafológicas y agroclimáticas facilita las actividades agrícolas. En las fuentes de agua superficiales y subterráneas que se ubican en lugares con prácticas agrícolas, presenta concentraciones significativas de nutrientes (nitrógeno y fósforo), en especial los acuíferos pocos profundos los cuales son afectados por compuestos nitrogenados como los nitratos (Dubrovsky et al., 2010). Esto se debe a las pocas acciones de control y protección a sus zonas de recarga, que por su vulnerabilidad son susceptibles a la contaminación. Esta agua escurre y/o viaja a través del medio poroso descargando en el cuerpo de agua más cercano según su dinámica hídrica.

El río Guacerique se ve afectado debido al uso excesivos de fertilizantes los cuales al solubilizarse son transportados a los afluentes o se infiltran al medio subterráneo. Los valores como el nitrato en agua naturales no puede sobrepasar los 10 mg/l, llegándose a reportar en el embalse de Los Laureles concentraciones hasta de 100mg/l, estos mismos junto a los ortofosfatos suelen ser los detonantes del alto crecimiento de algas, encaminándolos a la eutrofización de los cuerpos de aguas (Rodríguez,

2019), además la proliferación de lirios acuáticos causa una mayor sedimentación en el cuerpo de agua disminuyendo la vida útil del embalse.

La contaminación por nitrógeno afecta los diversos usos del agua como ser la pesca, recreación, la agricultura, industria y la destinada para el consumo humano (Carpenter et al., 1998), representado un riesgo para la salud de las personas, deterioro de los ecosistemas acuáticos y aumento del costo de potabilización del agua,.

La Subcuenca del Río Guacerique es una área que por sus características geológicas e hidrogeológicas, lo hacen susceptible a la contaminación desde la superficie, en especial en aquellas zonas donde hay alto desarrollo agrícola y donde sus prácticas no son compatible con la prioridad de conservación del recurso hídrico, afectando zonas y alturas de recargas, acuíferos someros y suelos con alta porosidad y permeabilidad.

2. CAPITULO II: Objetivos

2.1 Objetivo general:

Determinar el grado de vulnerabilidad de los acuíferos de la Subcuenca del Río Guacerique a la contaminación por nitratos, nitritos y amonio, utilizando los métodos DRASTIC y GOD, para informar la toma de decisiones en la planificación territorial y estrategias de conservación del recurso hídrico.

2.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades litológicas, piezométricas, topográficas, de conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, tipos de suelos y recarga hídrica en la Subcuenca del Río Guacerique, mediante la utilización de perfiles geofísicos, revisión de información secundaria y muestreo de compuestos nitrogenados.
- Determinar un modelo de vulnerabilidad intrínseca y específica para los acuíferos de la subcuenca, empleando los métodos DRASTIC y GOD.
- Analizar las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio en muestras de agua subterránea de la Subcuenca del Río Guacerique y su correlación con los grados de vulnerabilidad identificados a través de los modelos.

3. CAPITULO III: Marco de Referencia

3.1 Marco político

En el Decreto 132 del 11 de enero del año 1982 se aprueba la Constitución de la República de Honduras el cual rige el hacer político, económico y civil de las personas que viven en el territorio nacional. En el Artículo 145 describe “...*El Estado conservará el medio ambiente adecuado para proteger la salud de las personas*”. Por lo tanto, la protección de las fuentes hídricas (Subterráneas y superficiales) a la contaminación es un derecho fundamental para las personas en la salvaguarda de su salud y bienestar.

Antecediendo a la Constitución del año de 1982 en el Decreto 137 del 9 abril de 1927 se aprueba la Ley Aprovechamiento de Aguas Nacionales; con el objetivo de regular el aprovechamiento del recurso hídrico sus ecosistemas y recursos vinculados, este instrumento jurídico por más 82 años fue usado como base para la regulación y control de los recursos hídricos.

Mediante las acciones promovidas en la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente (3 al 14 de junio de 1992); se impulsa las iniciativas y políticas para institucionalizar la gestión y manejo del medio ambiente, mediante el Decreto N° 104-93 del 27 de mayo de 1993 se crea la Ley General del Ambiente con el objetivo de propiciar y establecer los medios para la protección, conservación, restauración, y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales y con la aprobación del Reglamento de la Ley General del Ambiente se crea la institucionalidad que ayuda a la gestión de los recursos hídrico.

El 14 de diciembre del año 2009 mediante Decreto Legislativo N° 181-2009 se crea la Ley General del Aguas con el objetivo de establecer los principios y regulaciones aplicables al manejo adecuado del recurso agua para la protección, conservación, valorización y aprovechamiento del recurso hídrico para propiciar la gestión integrada de dicho recurso a nivel nacional.

La Subcuenca del Río Guacerique y Grande (Concepción), fueron declaradas bajo Acuerdo N° 03-73 del 02 de enero de 1973 ubicada al oeste de Tegucigalpa (DARNA-TSC, 2017).

En las acciones de gestión de esta zona productora de agua se aprobó el Plan de Protección y Manejo Integral de la Subcuenca del Rio Guacerique (2012-2017), con el objetivo de manejar los recursos naturales; esenciales para la protección en su calidad, cantidad y continuidad del recurso hídrico.

3.2 Marco teórico

A. Recursos hídricos

i. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico empieza con la evaporación en los mares, ríos, lagos y otros cuerpos de agua lo cual incluye la transpiración de los seres vivos, todo estos medios y factores aporta cantidades importantes de vapor de agua a la atmosfera. Las nubes se forman a través de este vapor agua condensándose por medio de núcleos higroscópicos, integrando cada vez gotas más pesadas que se transforman en precipitación. Los hidrometeoros al caer a la superficie se fraccionan en dos, escorrentía superficial e infiltración. La interacción agua en el suelo con los seres vivos y las condiciones atmosférica provoca evapotranspiración, la cantidad restante es la recarga hídrica que al infiltrar hasta el subsuelo formando parte de las aguas subterráneas (GPW, 2011). Esta agua al fluir a través de las formaciones geológicas es regida por su gradiente hidráulica, la permeabilidad del medio y la capacidad de almacenar y transmitir el recurso, los cuales están clasificados en cuatro tipos de sistemas hidrogeológicas (Sanchez, 2022):

- Acuíferos: son formaciones hidrogeológicas capaces de transmitir y almacenar agua.
- Acuitardos: Almacenan agua, pero con dificultad transmiten el agua
- Acuicludos: Capaces de almacenar el agua, pero no transmiten agua (Medios impermeables con porosidades efectiva nula).
- Acuifugos: Formaciones que no pueden transmitir ni almacenar agua.

ii. Precipitación:

Precipitación es toda aquella agua meteórica que cae a la superficie de la tierra ya sea en forma, líquida (llovizna, lluvia), sólido (nieve o granizo) y precipitaciones ocultas (roció, niebla, neblina etc), la cual es provocada por los cambios de temperatura y presión, siendo esta la única forma de la entrada de agua a nivel continental (GPW, 2011).

iii. Infiltración:

La infiltración puede definirse la capacidad de admitir el agua en el terreno desde la superficie del suelo hacia su interior; cuya relación es de lámina de agua infiltrado y el tiempo que tarda en infiltrarse (Ayala, 2019).

iv. Recarga hídrica:

Se conoce como recarga hídrica, al proceso que se incorpora a un acuífero, agua desde la superficie o exterior, además se establece como el exceso de agua por infiltración por arriba de la

evapotranspiración, donde drena des la zona radicular, drenando de marea descendente por la zona no saturada hasta llegar a la zona saturada (Rodríguez & Pérez, 2014).

v. Acuíferos:

Se denomina acuífero aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Custodio E., 1983, pág. 259).

B. Determinación de la infiltración y recarga hídrica

La recarga acuífera se define como el movimiento del agua a través del suelo, zona no saturada o zonas preferenciales (fracturas, fallas, ríos, quebradas, lagos, drenaje u otras), que tarda un cierto tiempo en llegar a formar parte del flujo subterráneo (IHCIT, 2014).

La recarga se puede estimar a través de diferentes metodologías de aplicación. Mediante el método infiltración y balance climático. Para determinar la recarga hidrogeológica del acuífero mediante el primer método, se debe de calcular el coeficiente de infiltración y los factores Kp (Fracción que infiltra por efecto de pendiente), Kv (Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal) y Kfc (Fracción que infiltra por textura del suelo) (Schosinsky & Losilla, 2000), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C = (Kp + Kv + Kfc)$$

Ecuación 1. Coeficiente de Infiltración.

Fuente: Manual de Instrucciones, estudios hidrológicos, ONU (1972).

En 1994 se analizaron los índices de escorrentía sugeridos por Ven Te Chow los que son utilizados en la ciudad de Austin (Texas, USA). Se propone una disminución de la escorrentía en un 0.04 al pasar las pendientes del terreno entre 2 y 7% a superiores de 7%. Los terrenos cubiertos por zacates son levemente superior al terreno cultivado en un valor de 0.01. Los bosques y los terrenos con zacates tienen el mismo coeficiente de infiltración. Los terrenos cubiertos con pastizal disminuyen el coeficiente de infiltración aproximadamente en 0,02 con respecto al del bosque. Basado en los incrementos anteriores de Ven Te Chow y considerando los coeficientes de la ONU se definieron los siguientes valores:

Por Textura del Suelo:	Kfc
Arcilla compacta impermeable	0.10
Combinación de limo y arcilla	0.20
Suelo limo arenoso no muy compacto	0.40

Por pendiente:		Kp
Muy plana	< 1 %	0.40
Plana	1%-15%	0.15
Algo plana	15%-30%	0.10
Promedio	30%-50%	0.07
Moderado	50%-70%	0.05
Fuerte	mayor de 70%	0.01
Por cobertura vegetal		Kv
Vegetación espinosa		0.30
Tejido urbano		0.30
Cultivo de piña		0.30
Árboles frutales		0.20
Bosque de galería		0.20
Bosque latifoliado		0.20
Plantaciones de bosque mono específicos		0.20
Sistemas agroforestales		0.20
Vegetación arbustiva Baja		0.20
Hortalizas		0.15
Cultivos Anuales		0.15
Bosque de Conífera		0.15
Tierra Sin Bosque		0.15
Zonas Verdes Urbana		0.15
Pastos cultivados		0.10
Caña de azúcar		0.10
Lagos, laguna		0.00
Praderas pantanosas		0.05

Tabla 1. Coeficiente de Infiltración Propuesto.

Fuente: Losilla y Schosinsky modificado, Junker (2005)

Se determinó que el 12% de la lluvia anual se intercepta por la presencia de follaje, es decir que ese porcentaje de agua no llega el suelo y no es parte de la recarga neta del acuífero (Schosinsky & Losilla, 2000). Representando la infiltración de la siguiente forma:

$$I = 0.88(Kp + Kv + Kfc)$$

Ecuación 2. Coeficiente de infiltración modificado, por factor de retención del follaje.

Fuente: Schosinsky & Losilla (2000)

Para poder determinar la recarga hídrica se debe de estimar el balance climático. El cual es definido como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real, bajo condiciones precedentes singulares, puede proveer información general del recurso hídrico. (IHCIT, 2014).

Una vez obtenido estos valores mediante una multiplicación del balance climático y el coeficiente de infiltración se obtiene recarga hídrica o hidrogeológico.

Para poder obtener la recarga es indispensable contar con datos homogéneos de precipitación, por tal razón, es necesario tener la información de la series histórica de lluvias y temperaturas (para obtención de la evapotranspiración) de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio, donde algunas no cuenta con datos consistentes (información faltante o datos no acordes con la realidad del sitio), por lo cual es necesario aplicar técnicas o métodos matemáticos para su obtención y tratamiento, como se menciona a continuación:

Estimación de datos faltantes

Los datos históricos de precipitación y otras variables climatológicas en muchas de las ocasiones no cuentan con una homogenización de los datos, existiendo información faltante que es necesario determinar. Para esto se utilizará la estimación por la razón normal de sus valores. Este método consiste en ponderar las precipitaciones de las estaciones índices con las proporciones de la precipitación normal anual de la estación estudiada (dato faltante), donde la ecuación está dada por las siguientes variables:

$$Px = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{Nx}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{Nx}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{Nx}{N_n} \right) P_n \right]$$

Ecuación 3. Estimación de Datos Faltantes por la Razón Normal.

Fuente: Clase magistral de Hidrología, Ayala (2019).

Donde:

Px: precipitación (faltante) de la estación en estudio "x" durante el período de tiempo por completar.

n: número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación en estudio.

Nx: precipitación normal media anual a nivel multianual de la estación en estudio "x".

Nn: precipitación normal media anual a nivel multianual de las estaciones índices.

Pn: precipitación de las estaciones índice (la n) durante el mismo período de tiempo por completar.

Evapotranspiración potencial y real

La evapotranspiración es la cantidad de aguas que se evapora por la interacción del aire y el sol en el suelo más la transpiración de los seres vivos. Los métodos para medir la evapotranspiración en general son mediante cálculos matemáticos y medición en el campo.

Para la medición en el campo por lo general se utiliza lisímetro y evaporímetros. El lisímetro es un recipiente lleno de tierra con plantas de dosel la cual mide la diferencia de pesos de la masa en un periodo con y sin precipitación. El evaporímetro es un recipiente con agua el cual mide el cambio de nivel de este, por acción de la evaporación.

La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad de aguas que se evapora y transpira sin un límite establecido. La ETP se puede estimar mediante cálculo, por medio de los parámetros que influyen en el sistema, como el balance de agua y energía de la superficie relacionada. Existen diversos métodos para la estimación de la evapotranspiración potencial entre los cuales tenemos; Hargreaves, Garcia B, Turc, Blakney, Penman-Monteith; y el método de Thornthwaite el cual profundizaremos en los siguientes párrafos.

El método de Thornthwaite es una ecuación empírica para el cálculo de la evapotranspiración potencial de una superficie, el cual se basa en la correlación entre la temperatura media y la tasa de transpiración de un suelo cubierto de césped (Ayala, 2019), estimándose con la siguiente ecuación:

$$ETP_o = 16. LA \left(\frac{10T_{med}}{I} \right)^a$$

Ecuación 4. Método de Thornthwaite.
Fuente: Thornthwaite, (1948).

LA= Coeficiente de ajuste por horas de sol de acuerdo con la latitud de la estación, el cual se extrae de la tabla de Thornthwaite (Ver tabla)

Tmed= Temperatura Media

I= Índice térmico que caracteriza la estación de la sumatoria de los 12 meses del año:

$$I = \sum \left(\frac{T_{med}}{5} \right)^{1.514}$$

Ecuación 5. Índice Térmico.

Fuente: Thornthwaite, (1948).

a= Coeficiente de ajuste, el cual está dada por la siguiente ecuación:

$$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239$$

Ecuación 6. Coeficiente de Ajuste.

Fuente: Thornthwaite, (1948).

Latitude	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
60°N	0.54	0.67	0.97	1.19	1.33	1.56	1.55	1.33	1.07	0.84	0.58	0.48
50°N	0.71	0.84	0.98	1.14	1.28	1.36	1.33	1.21	1.06	0.90	0.76	0.68
40°N	0.80	0.89	0.99	1.10	1.20	1.25	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78
30°N	0.87	0.93	1.00	1.07	1.14	1.17	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85
20°N	0.92	0.96	1.00	1.05	1.09	1.11	1.10	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91
10°N	0.97	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10°S	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96	0.97	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06
20°S	1.10	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91	0.92	0.96	1.00	1.05	1.09	1.11
30°S	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85	0.87	0.93	1.00	1.07	1.14	1.17
40°S	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78	0.80	0.89	0.99	1.10	1.20	1.25
50°S	1.33	1.19	1.05	0.89	0.75	0.68	0.70	0.82	0.97	1.13	1.27	1.36

Tabla 2. Coeficiente de ajuste por horas de sol según la latitud de la estación.

Fuente: Thornthwaite, (1948).

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de aguas que se evapora y transpira según la disponibilidad que exista en el medio. Existen diversas metodologías para la estimación de ETR como ser; método directo, balance de agua en el suelo y relaciones matemáticas adimensionales.

La relación adimensional de Budyko (1974) es un método muy aceptado en la hidroclimatología el cual lanzo una hipótesis mediante una relación funcional entre la evapotranspiración y el índice de aridez (Arias et al., 2004) mediante el uso de la ETP, concluyendo con la siguiente ecuación:

$$ETR = ((ETP * P * Tanh(P/ETP)) * (1 - Cosh(ETP/P) + Senh(ETP/P)))^{0.5}$$

Ecuación 7. Evapotranspiración Real.

Fuente: Budyko (1974).

ETP= Evapotranspiración Potencial

P= Precipitaciones

C. Acuíferos desde el punto de vista hidráulico

1) Acuífero libres:

Acuíferos libres no confinados o freáticos aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y, por lo tanto, a presión atmosférica (UPC, 2022).

2) Acuíferos confinados:

Acuíferos cautivos, confinados o a presión, el agua de estos está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola totalmente (UPC, 2022).

3) Acuíferos semi-confinados:

Se pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro (parte inferior) y/o el techo (parte superior) que los encierra no sea totalmente impermeable sino un acuitardo, es decir un material que permita una filtración vertical del agua, muy lenta, que alimente el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo (UPC, 2022).

4) Acuíferos artesianos:

Si se perfora un sondeo hasta alcanzar un acuífero confinado, el agua del acuífero ascenderá en el interior de ese sondeo hasta alcanzar un equilibrio entre la presión a la que se encuentra sometida y la presión atmosférica. A este fenómeno se le denomina artesianismo. Si la presión fuese suficiente, el agua podría ascender por encima de la superficie del terreno originándose un fenómeno de surgencia (Marquez, 2018).

D. Acuíferos desde el punto de vista geológico

1) Acuíferos Porosos:

Los acuíferos porosos son aquellos que están compuestos por material granuloso con o sin cementar, depósitos aluviales, canto rodado, gravas y arenas, que incluye materiales de origen detrítico proveniente procesos erosivos (eólico o hídrico) además de los depósitos coluviales. Los acuíferos porosos se caracterizan por su alta porosidad primaria (Escuder et al., 2009).

2) Acuíferos fracturados:

Los medios fracturados por lo general son rocas duras, muy compactas con reducida capacidad de almacenamiento, con baja porosidad primaria. De este modo la porosidad secundaria (fisuras o fracturado u alteración mineralógica por reacciones químicas) es muy importante, porque otorga la propiedad acuífera del medio (Escuder et al., 2009).

E. Parámetros hidráulicos del acuífero

- Coeficiente de almacenamiento (S): se define como el agua que puede ser liberada por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura equivalente al espesor saturado del mismo, cuando se produce un descenso unitario del nivel piezométrico (UPC, 2022).
- Conductividad hidráulica o permeabilidad: Es la menor o mayor medida que un material deja pasar el agua, en un gradiente de mayor piezometría a un menor (UPC, 2022).
- Espesor saturado: es la relación entre el techo del acuífero y su base dado en unidades de distancia (Sanchez, 2022).
- Transmisividad: Es la cantidad de agua que pasa por unidad de ancho unitario del acuífero (Espesor Saturado) (Suñe, 2021).
- Porosidad: Es la capacidad de un suelo para almacenar agua y es dada por la relación de espacio de vacíos (Aire y Agua) y el volumen del medio (Sanchez, 2022).
- Porosidad efectiva: fracción volumétrica de material ocupada por los poros que están interconectados de modo que permiten el flujo del agua (UPC, 2022).
- Porosidad primaria: Es aquella que se origina durante el proceso de deposición o creación de la roca (Briones et al., 2016).
- Porosidad secundaria: Es la porosidad originada por el proceso que ocurre después de la deposición o creación de la roca las cuales puede ser por medios naturales o artificiales, ejemplo: fracturas, diaclasas entre otros (Briones et al., 2016).

F. Zona saturada y no saturada

La zona saturada es aquella parte de las formaciones hidrogeológicas donde totalidad de sus poros está lleno de aguas (UPC, 2022). La zona no saturada está por arriba de la saturada, donde sus poros contienen agua y gases.

La parte superior de la zona saturada es el nivel freático y la parte inferior está compuesta por su base que en general es un lecho impermeable o un acuitardo (Suñe, 2021). En el caso de la zona no

saturada es más complejo ya que las fuerzas de capilaridad, adhesión y tensión superficial actúan sobre los poros.

La franja o zona capilar está por arriba del nivel freático y es el agua que se desplaza a través de los poros por la fuerza de tensión superficial (Sanchez, 2022). La zona intermedia se caracteriza por ser zona con contenidos gases y de gotas de aguas que quedan adherida en los granos del material geológico. Estas se dividen en dos; el agua pelicular es la que se adhiere entre los granos de los poros y el agua higroscópica por la fuerza de atracción molecular; El agua higroscópica es la que está fuertemente adherida al grano del poro y esta no puede ser extraída por las raíces de la plantas.

El agua restante que se mueve libremente a través de los poros por acción de la gravedad es conocida como gravífica (Del Campo, 1989). Generalmente los solutos liberados en la superficie son transportados por el agua gravífica viajando a través de los poros en la zona no saturada hasta el acuífero.

El nivel freático es la parte superior de la zona saturada o acuífero. El nivel piezométrico es la altura del espejo de agua con respecto a un plano de referencia (Sanchez, 2022). Para los acuíferos libres es la columna de agua con respecto al nivel del mar. En los confinados corresponde a la presión existente y a la altura que alcanzaría en el acuífero hasta equilibrarse con respecto a la presión atmosférica.

Las observaciones a través de piezómetros proporcionan una imagen tridimensional de la carga hidráulica a lo largo de un sistema de acuífero, líneas dibujadas uniendo puntos de igual carga de agua subterránea, o agua subterránea potencial, se denominan líneas equipotenciales. Líneas perpendiculares a las líneas equipotenciales son líneas de flujo y se puede utilizar en la construcción de un flujo neto, la construcción de los contornos equipotenciales da como resultado un mapa del superficie potenciométrica (Bense & Hiscock, 2014).

Para acuíferos libres, el nivel freático define la superficie potenciométrica debido a que el nivel capilar es muy pequeño y la presión del medio poroso es igual a la atmosférica. Para los acuíferos confinados o semiconfinados las superficies piezométrica son más elevadas que el techo de los mismos, excepto algunas veces en las proximidades de captaciones que producen un gran descenso del nivel del agua (Custodio E., 1983).

G. Técnicas para determinar los parámetros hidráulicos

Pruebas de Bombeo

La prueba de bombeo se realiza para evaluar un acuífero, estimulándolo por medio de bombeo, y observando su respuesta (descenso de nivel o recuperación) en pozos de observación o en el mismo que se está bombeando (Suñe, 2021). Una prueba de bombeo es una herramienta común utilizada en hidrogeología para caracterizar un sistema de acuíferos.

Las pruebas de bombeo nos permiten determinar los siguientes parámetros hidráulicos:

- **Transmisividad:** es el volumen de agua que atraviesa una sección transversal del acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro (Suñe, 2021).
- **Coefficiente de almacenamiento:** se define como el agua que puede ser liberada por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura equivalente al espesor saturado del mismo, cuando se produce un descenso unitario del nivel piezométrico (UPC, 2022).
- **Radio de influencia:** es el radio en el cual puede afectar el bombeo del pozo dando un descenso significativo (Suñe, 2021).
- **Caudal de extracción:** este es dado por las diferentes ecuaciones dependiendo el tipo o naturaleza del acuífero (Suñe, 2021). El cual va en función en los descensos máximos permitidos en el acuífero.

Existen diferentes metodologías para medición de las características hidráulicas de los acuíferos. En el alcance del presente trabajo se utilizarán los siguientes métodos:

- **Thiem:** La fórmula de Theim se utiliza en acuífero confinado en un régimen estacionario. La fórmula THEIM (1906) fue la primera en utilizar uno o dos más piezómetros para determinar la conductividad hidráulica (Permeabilidad) en un acuífero (Theim, 1906).
- **Theis:** La fórmula de Theis es la que se utiliza en acuífero confinados en un régimen transitorio, se mide los descensos en pozos, el cual mediante métodos gráficos y haciendo superposición de curvas tipo, se determina las variables hidráulicas de pozo como ser la permeabilidad y coeficiente de almacenamiento (Theis, 1935).
- **Jacob:** La fórmula de Jacob es una adaptación del método de Theis, el cual se utiliza en acuíferos confinados en un régimen transitorio. En este se grafica los descensos en semilogarítmica; se interpola una recta que se ajuste más a los puntos en un ciclo logarítmico ($t_2 = 10t_1$), descartando los primeros, ya que Jacob no se cumple en tiempos pequeños, dando una diferencia entre los puntos de $s_1 - s_2$ (Cooper & Jacob, 1946).

- **De Glee:** Es un método de bombeo que se utiliza en acuíferos semiconfinados en un régimen estacionario. Esta fórmula considera la influencia de la capa semiconfinante como un acuitardo que aporta una recarga al acuífero subyacente, considerando como un flujo vertical (goteo) (de Glee, 1930).
- **Dupuit:** Este método se utiliza en acuíferos libres en régimen estacionario. Uno de los inconvenientes de los acuíferos libres es que deja de cumplir con las condiciones impuestas por la fórmula de Thiem, el flujo deja de ser radial (Dupuit, 1836).

H. Métodos Geofísicos

Resistividad eléctrica

La resistividad es la mayor o menor medida que deja un material pasar la corriente eléctrica. Resistividad depende de la geología de la formación y del contenido de agua, esto nos permiten conocer de mejor manera las características intrínsecas del subsuelo, el cual se utiliza ampliamente en las prospecciones hidrogeológicas (Montiel, 2022).

Estas técnicas son ampliamente utilizadas en arqueología, medio ambiente, aguas subterráneas y exploración minera. Nos facilita obtener la profundidad de los basamentos rocosos, mapas de aguas subterráneas y plumas de contaminación, columna estratigráfica, profundidad del agua subterránea entre otros.

Para poder entender sobre los métodos de resistividad eléctrica es necesario definir conceptos básicos de electricidad:

- Voltaje (V): Energía potencial eléctrica por unidad de carga (volteos).
- Corriente (i): Cantidad de carga por unidad de tiempo (Amperaje).
- Resistencia (R): Constante de proporcionalidad (ohmios)

$$i = \frac{1}{V} * R$$

Ecuación 8. Ley Ohm, relación entre voltaje, corriente y resistencia.

Fuente: Sanchez, (2016).

Resistencia de dos cuerpos del mismo material puede variar dependiendo de la geometría L y A (longitud y área). La resistividad eléctrica ρ [ohm/m] es una propiedad intrínseca del material, es la menor o mayor medida que el mismo deja pasar la electricidad y está definido por la siguiente ecuación:

$$R = \rho * \frac{L}{A} \text{ (ohm)}$$

Ecuación 9. Formula Resistividad Eléctrica.

Fuente: Sanchez, (2016).

Donde ρ es la resistividad eléctrica habilidad para permitir el paso de una corriente eléctrica. mhos/m o siemens/m. A continuación, se presenta la resistividad de diferentes materiales geológicos:

Material	Ωm
Aguas subterráneas en granito y aguas hipogénicas	20-100
Aguas subterráneas en caliza y acarrees	20-50
Aguas salobres	1-10
Aguas potables superficiales	10-300
Agua de mar	Menor 0.2
Agua destilada	Mayor de 500
Arcillas y margas	10-100
Calizas y areniscas	50-3000

Tabla 3. Resistividad de algunos materiales, ohm-metros.

Fuente: Custodio y Llamas, (2001).

Podemos emplear la superficie, el subsuelo y sus rocas como un modelo conceptual de resistores, capacitores, inductores y baterías.

El equipo de campo usado transmite una corriente continua artificial (batería) esa corriente generada se transfiere por cables dispuestos en el suelo, y sus extremos se conectan entre electrodos (varillas de cobres o acero), y con otros dos electrodos independientes se miden la tensión resultante en el voltímetro (Sanchez, 2016).

Si el suelo es heterogéneo e isotrópico la densidad de corrientes es la misma hacia todas las direcciones, fluye de manera radial al igual que los rayos sísmicos. A una distancia determinada tenemos el radio ya que la otra mitad se expande por arriba del terreno, por lo tanto tendríamos una media esfera que sería $2\pi r^2$. La longitud y el punto fuente sería igual $r=L$ aplicando la ley Ohm tendríamos lo siguiente:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r}$$

Ecuación 10. Formula ajustada Ley de Ohm.

Fuente: Sanchez (2016).

El circuito es necesario cerrarlo, por lo cual la corriente transmitida por el punto A debe de salir por el punto B. Como el voltímetro mide el potencial necesitamos conectarlos en dos puntos M, N mediante electrodos de potencia. Es decir, midiendo I con un amperímetro y ΔV con un voltímetro y conociendo las posiciones A, B, M y N se podría determinar resistividad quedando la siguiente manera:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

Ecuación 11. Ley de Ohm modificada, en aplicación a la geofísica.

Fuente: Sanchez (2016).

K es conocida como la constante electródica la cual va en función de la configuración de los electrodos como se muestra en la siguiente ilustración:

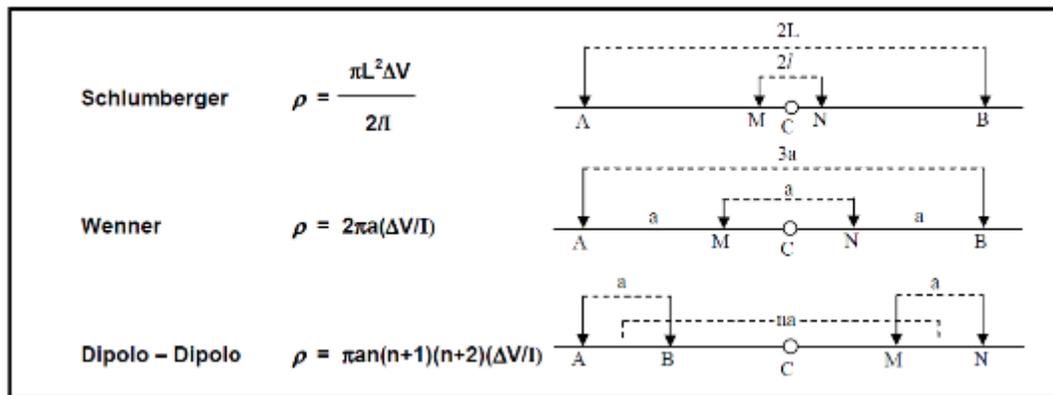


Ilustración 1. Arreglos y Configuración electródica diseñadas

Fuente: Sanchez (2016).

El Wenner es más sensible a cambios verticales, Dipolo-Dipolo a los horizontales y Schlumberger es una combinación de ambas, va bastante bien para cambios horizontales y verticales (OCSA, 2016).

Dentro de los métodos de resistividad eléctricas cuenta de dos herramientas; Sondeos eléctrico vertical (SEV) y Tomografía eléctrica (2D). El SEV es una prueba que se usa para conocer la distribución de resistividad del suelo, dadas las propiedades eléctricas de los materiales que

constituyen del subsuelo, éste manifiesta un determinado comportamiento ante el paso de corriente eléctrica, donde el mismo se manifiesta en líneas de campo o flujo eléctrico constante para materiales homogéneos, por ello cuando los valores y características de estos campos varían, indican un cambio de materiales o una discontinuidad dentro de un mismo depósito (SEHEDIS, 2021).

La tomografía eléctrica es una herramienta cuyo fin es determinar la distribución de la resistividad del subsuelo haciendo mediciones desde la superficie del terreno a diferencias del SEV en un 1D este proporciona una imagen 2D de la sección transversal del terreno y sus cambios de resistividad, una de las limitantes de este método es la profundidad del sondeo que llega a un máximo de 30 metros. Es decir da una visualización en dos dimensiones que ofrece esta técnica geofísica, el cual sirve para estudiar la distribución de las heterogeneidades en el suelo, la zona no saturada, saturada y cómo pueden influir en la hidrodinámica de este medio (Dietrich, 2013).

I. Hidroquímica

La hidroquímica es la rama de la hidrogeología que estudia la composición química del agua, la cual puede ser aplicada a las aguas superficiales. El agua es disolvente natural, tiene una gran capacidad de disolución y elevada reactividad, lo que hace que el medio tenga una gran cantidad de sustancias disueltas. La mayor parte de las sustancias disueltas en el agua natural están en forma de iones y raramente como molécula, parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas (Lillo, 2000).

J. Nutrientes

Los principales nutrientes en el agua es el nitrógeno y fósforo, además de otros compuestos en menor proporción Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Carbono (C), Azufre (S) y Cobalto (Co) entre otros (González, 2021).

El nitrógeno en el agua se encuentra en forma iónica como ser los nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) entre otros. Estos al superar la cantidad máxima admisible pueden presentar graves riesgo para la salud humana y deterioro del ecosistema acuático.

i. Nitratos, nitritos y amonio

El amonio, nitritos y nitratos son indicadores de la calidad del agua, y puede indicar si el medio está contaminado por solutos provenientes de la superficie.

El amonio (NH_4^+) se produce de manera natural cuando se descompone la materia orgánica, debido a la acción de bacterias. El nitrato (NO_3^-) se produce por la oxidación del amonio este proceso se llama nitrificación. Los nitritos (NO_2^-) se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados.

Estos compuestos nitrogenados son parte del ciclo de nitrógeno, pero las actividades humanas han incrementan sus niveles, principalmente en el suelo, debido a su alta solubilidad en el agua, el cual pueden alcanzar concentraciones importantes en los ríos, lechos profundos y las aguas subterráneas (Bolaños et al., 2017).

Las principales rutas de entrada del nitrógeno de origen antropogénico al agua son; descargas de aguas residuales, desechos provenientes de actividades agropecuarias y el uso de fertilizantes en actividades agrícolas.

En el caso de los nitratos tiene un impacto significativo en la salud de las personas, el exceso de este ion en el agua causa una enfermedad denominada metahemoglobinemia, que principalmente se manifiesta en bebés de hasta 6 meses de edad, debido a la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de los glóbulos rojos, causando diversos daños en los órganos del cuerpo (Bolaños et al., 2017).

En las aguas subterráneas, estos nutrientes debido a su alta solubilidad son persistente y viajan con mucha facilidad en el medio poroso, dificultando llevar a cabo medidas de remediación de estos solutos, por lo cual las acciones de prevención son prioritarias para evitar la contaminación del medio hidrogeológico.

K. Vulnerabilidad de acuífero y contaminación

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta (Foster & Hirata, 1991)

Diversos autores establecen varios factores que, de una medida, facilitan o mitigan la entrada de una carga contaminante al acuífero, como ser la permeabilidad, zonas de recarga, geología, porosidad entre otros. Pero se puede identificar dos factores que condicionan tal vulnerabilidad:

- La inaccesibilidad hacia la zona saturada, en un sentido hidráulico a la penetración del contaminante (CEPIS, 1991).
- La capacidad de atenuación de los estratos que están por encima de la zona saturada del acuífero como resultado de su retención física y reacción química con el contaminante (CEPIS, 1991).

Todo esto se engloba en la vulnerabilidad intrínseca ya que estos factores condicionan el medio hidrogeológico. Pero cuando evaluamos la vulnerabilidad de los acuíferos a un contaminante o familia de contaminantes que compartes características en común y comportamiento similar (nitratos, hidrocarburos livianos o pesados, plaguicidas, materia orgánica, fenoles, metales, etc.) se refiere a vulnerabilidad específica.

Para poder evaluar y hacer un análisis de vulnerabilidad de acuífero existe diversas metodologías con las cuales podemos obtener insumos sobre las condiciones de fragilidad que tiene el medio poroso, y en el alcance de esta investigación DRASTIC y GOD.

L. Métodos en vulnerabilidad de acuíferos

i. DRASTIC

El modelo DRASTIC es una herramienta de evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos ampliamente reconocida y utilizada en el ámbito de las ciencias del agua y la hidrogeología. Esta herramienta fue desarrollada inicialmente por Aller et al (1987) en un esfuerzo conjunto con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y el Servicios Geológico Nacional (USGS), DRASTIC es un acrónimo que representa siete variables consideradas en la evaluación:

- *D* significa *depth* que es la profundidad del nivel freático;
- *R* que es *recharge* que significa recarga neta;
- *A* es *aquifer* que es la litología del acuífero;
- *S* es *soil* que se refiere al tipo de suelo;
- *T* *topography* que en español significa topografía.
- *I* es *impact* que es la naturaleza de la zona no saturada;
- *C* es *hydraulic conductivity* que es la conductividad hidráulica del acuífero.

Este modelo es útil para la ordenación del territorio y la gestión de acuíferos, ya que proporciona un mapa de vulnerabilidad que puede ser interpretado para guiar políticas y decisiones (Barbash & Resek, 1996; Rahman, 2008).

En el ámbito internacional. DRASTIC se ha aplicado en una variedad de contexto hidrogeológicos, demostrando su utilizadas para identificar zonas con alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (Sener et al., 2005). También, ha sido adaptado y modificado para evaluar las vulnerabilidades específicas hacia un compuesto o sustancia definida, como la contaminación por nitratos, plaguicidas y productos industriales (Tesoriero et al., 1998), alertando los sitios donde el acuífero es más vulnerable a la contaminación desde la superficie.

Hay que resaltar que el modelo DRASTIC, no solo ha sido aplicado en países occidentales sino también ha encontrado su aplicación en diversas regiones del mundo (incluyendo climas áridos y semiáridos, donde la vulnerabilidad de acuífero es una preocupación particular) (Al-Adamat et al., 2003).

Por lo tanto, DRASTIC es una herramienta robusta y versátil para la evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos, ofreciendo un marco integral que puede adaptarse a diferentes necesidades y contexto de investigación.

Una de las limitaciones y desventajas de DRASTIC es la alta cantidad de variables que procesar, la cual en países en desarrollo existen limitaciones de información, dificultando obtención de este modelo de vulnerabilidad.

ii. GOD

Este método propuesto por Foster y Hirata (1987), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables que son las que nominan el acrónimo (Auge, 2007):

- *G* es *ground water occurrence* que es el tipo de acuífero.
- *O* es *overall aquifer class* que es la litología de la cobertura.
- *D* es *depth* significa la profundidad del agua o del acuífero.

GOD resulta más efectivas en cuanto a la menor necesidad de información específica y la mayor rapidez con que se llega a los resultados finales, utilizándose para una etapa de estudio preliminar y con información a escala regional (Montaño et al., 2004). Dados que los datos relacionados con muchos parámetros generalmente no están disponibles, por lo cual es inevitable la simplificación de las variables, por tal razón el método GOD para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de

los acuíferos ha tenido amplias aplicaciones en América latina debido a su simplicidad de conceptos y aplicación (Foster et al., 2013).

GOD es una herramienta de fácil y rápida aplicación, debido a la simplificación de la cantidad de variables aplicadas, la facilidad de aplicación y la disponibilidad de la información, además es ampliamente aplicada a nivel de la región.

M. Usos de los sistemas de información geográfica en la vulnerabilidad de acuíferos

Los SIG son un marco de trabajo para almacenar, recolectar, procesar, gestionar y analizar datos desde una perspectiva geográfica, haciendo uso de herramientas informáticas desde una interfaz de trabajo.

La aplicación del SIG en el análisis de vulnerabilidad de acuífero es de suma importancia, ya que los datos de las variables DRASTIC y GOD, se debe de espacializar haciendo uso de las herramientas que contiene el SOFTWARE (QGIS), mediante diversos métodos de interpolación.

Unas de las principales herramientas dentro del SIG son los métodos de interpolación el cual ayuda a espacializar las variables intrínsecas del terreno:

- i. Vecino más cercano (Nearest Neighbor): El método se basa únicamente en la distancia euclidiana, obviando cualquier tipo de valor asignado a los puntos de muestreo (Estévez, 2019).
- ii. TIN (Triangulated Irregular Network): Este método de interpolación devuelve una superficie de triángulos formada a partir de la localización de una serie de vértices cuyos valores son conocidos. Los vértices se conectan mediante aristas para generar dicha red triangular (Estévez, 2019).
- iii. Interpolación IDW (Inverse Distance Weighting): Determina la magnitud de un punto ponderando la inversa a la distancia de puntos conocidos (Montoya, 2015). Esto se refiere en la relación que hay entre los puntos y su distancia, ya sea cuando disminuye o aumenta. Cuando aumenta su distancia su relación disminuye.
- iv. Interpolación mediante Spline: El algoritmo hace uso de una jerarquía gruesa a fina de grillas de control para generar una secuencia de funciones bicúbicas B-spline cuya suma se aproxima a la función de interpolación deseada (Montoya, 2015).
- v. Krigging: Es el método de interpolación donde los valores interpolados son modelados por un proceso Gaussiano gobernado por covarianzas (Montoya, 2015).

Uno de los métodos a utilizar para la espacialización de los puntos de muestreos es el Kriging el cual se divide de la siguiente manera:

- i. Kriging ordinario: Es el método kriging más utilizadas y presupone que la media de los valores es constante pero desconocida (Esri, 2023).
- ii. Kriging simple: Este asume que las medias locales son relativamente constantes, cuyo valor es semejante a la media poblacional conocida (Esri, 2023).
- iii. Kriging universal: utiliza frecuentemente con datos que presentan una tendencia espacial significativa, tales como una superficie en pendiente. En el kriging universal, los valores esperados de los puntos muestreados se modelan como una tendencia polinómica. Se realiza kriging con la diferencia entre esta tendencia y los valores de los puntos muestreados (Esri, 2023).

Otra herramienta importante dentro de los SIG es el álgebra de mapa, en el cual se ejecuta todos los operadores matemáticos, lógicos y otras funciones de análisis espacial. Esta herramienta opera sobre capas ráster con información numérica o alfanumérica lo que permite tener como resultado una nueva información derivada de carácter espacial.

4. Capítulo IV: Descripción del medio

4.1 Descripción socioeconómica

A. Población

La Subcuenca del Río Guacerique está compuesta por 15 aldeas³; las cuales 13 pertenece al Municipio del Distrito Central y 2 al Municipio de Lepaterique⁴.

Existe 45 comunidades agrupadas en caseríos con 2,308 viviendas, con una población aproximada de 11,096 habitantes, que ejercen presión sobre los recursos naturales, demandando cantidad y calidad de agua a nivel domiciliario, con escasa participación voluntaria en la protección y conservación de estos y en especial al hídrico (ICF & SANAA, 2012). EL crecimiento poblacional tiene una cifra aproximada de 2.4%. La distribución poblacional esta dado de la siguiente manera:

Distribución	Habitantes	Porcentaje (%)
Hombres	5198	47
Mujeres	3342	30
Niños (as)	2556	23
Total	11096	100

Tabla 4 Distribución poblacional de los habitantes en la Subcuenca del Río Guacerique
Fuente: ICF, SANAA, (2012).

B. Salud

Existen 2 Centro de Salud Rural ubicados en la parte media y baja de cuenca (aldeas Mateo y San Matías), insuficientes para cubrir las necesidades de salud en la población.

En la mayoría de la población de la subcuenca prevalecen infecciones respiratorias agudas, diarreas y alergias, a consecuencia de los productos agroquímicos que se utilizan, sistemas de saneamiento básico inadecuados y el hacinamiento de la población, que provoca la recurrencia de estas enfermedades.

³ ICF y SANAA (2012). Amarateca, San Matías, Santa Cruz Abajo, Distrito Central, Santa Cruz Arriba, La Cuesta No. 2, Mateo, Nueva Aldea, Las Tapias, La Calera, Las Casitas, La Sabana y Concepción de Rio Grande.

⁴ICF, y SANAA (2012). Hierbabuena y La Brea.

C. Actividades económicas

La actividad económica principal en la zona es la agricultura (hortalizas y granos), cubriendo un 60% de abastecimiento a la capital, también de manera de subsistencia para algunos agricultores en la subcuenca. Otra actividad de carácter extractiva es la extracción de leña, lo cual ha repercutido en la cobertura forestal en la subcuenca (ICF & SANAA, 2012).

Las opciones de empleos son pocas, teniendo labores de jornaleros en las áreas agrícolas y la extracción de producto forestal, y por la cercanía de la capital existe muchos pobladores que trabajen en el sector público y privado.

D. Agua Potable y saneamiento básico

A nivel de la Subcuenca del Río Guacerique existe una cobertura de agua potable del 76%, los cuales en su mayoría son manejados por las juntas administradoras de agua. De las 41 comunidades el 54% tiene agua a través de tuberías, 22% se abastece de pozos comunales y el 24% restantes lo acarrearán de quebradas y manantiales cercanos a su casa (ICF & SANAA, 2012).

Según los datos del Instituto Nacional de Censos y Estadísticas del INE 2013, la proporción de viviendas que cuenta con agua potable de las aldeas que cuyo territorio está dentro de la subcuenca del Río Guacerique (ver anexo 2). Alrededor del 24% de las viviendas en la Subcuenca del Río Guacerique cuenta con sistemas de saneamiento básico (ver anexo 3).

E. Tenencia de tierras

El 87% de la Subcuenca pertenece al Municipio del Distrito Central y el 13% restante al Lepaterique ambos basados en ejidos (ICF & SANAA, 2012). De acuerdo con los límites administrativos dentro del Municipio del Distrito Central existen 15 títulos los cuales 4 son ejidos⁵ y 11 son privados. El título de San José de Guacerique el 50% se denomina proindiviso (derecho parcial sobre la propiedad), ya que mediante testamento se define los beneficiarios sin especificar el área que le pertenece a cada uno.

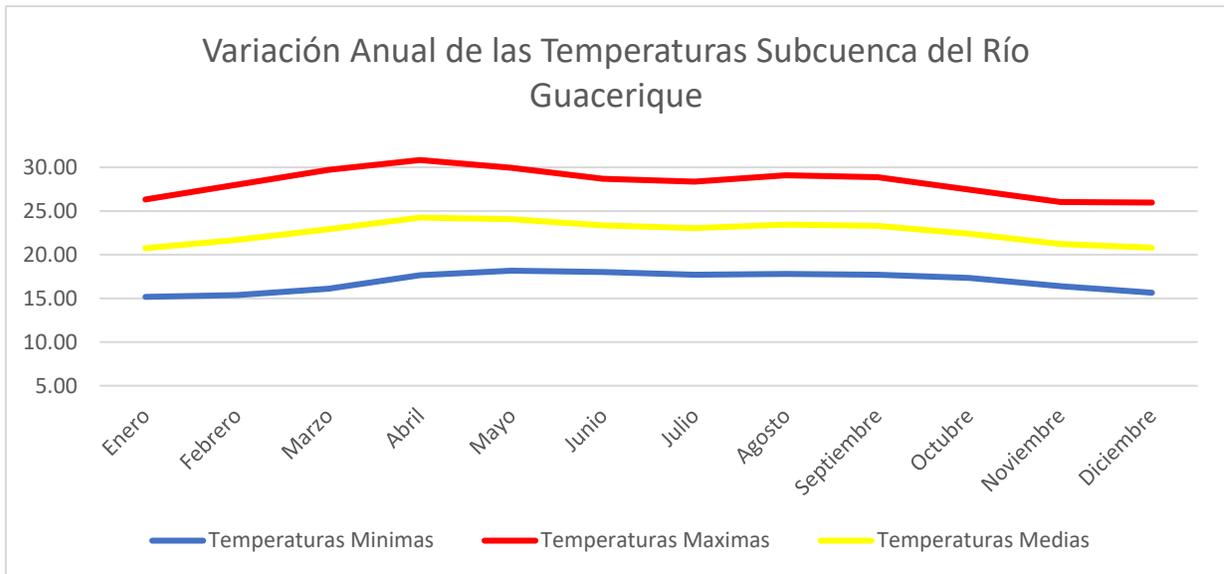
Además, se encuentra dos áreas en pretensión entre el ejido del Quiscamote y título de Rincón de Dolores; y los ejidos de Crucificado de Concepción y Quiscamote.

⁵ICF & SANAA (2012) Comayagüela, Quiscamote, Empedrado, Crucificado de Concepción

4.2 Descripción biofísica

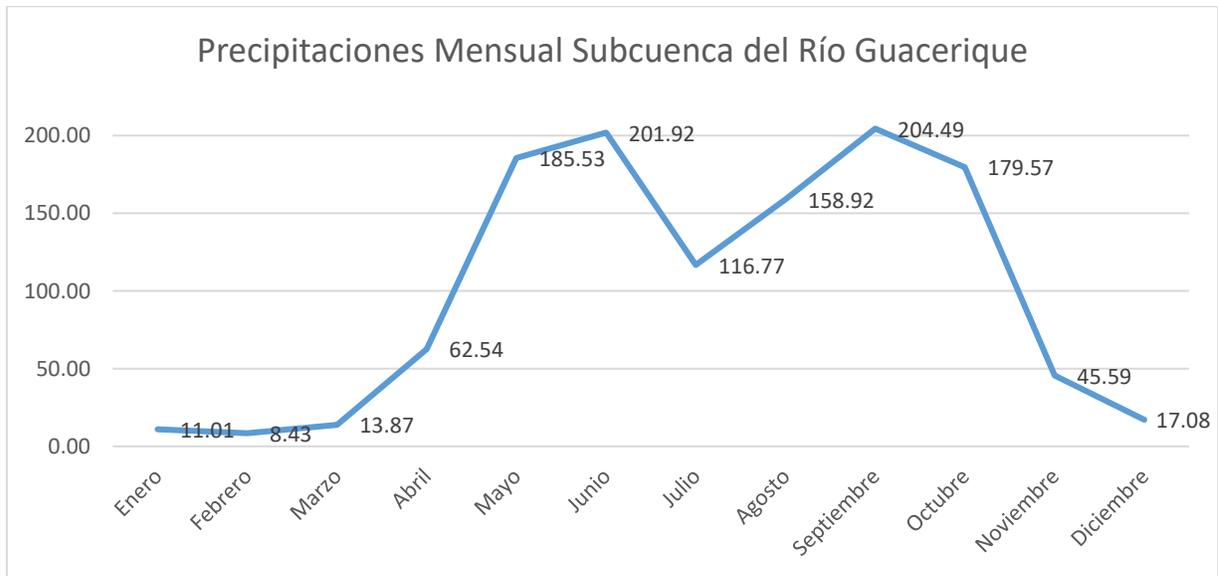
A. Clima

El clima en la Subcuenca del Río se caracteriza por un clima templado afectado por periodos alternos de verano e invierno (ICF & SANAA, 2012). Las temperaturas mínimas oscilan entre 12 °C y 18 °C grados con una media de 16 °C; y con temperaturas, máximas que oscilan los 28 °C con una temperatura media de 22 °C.

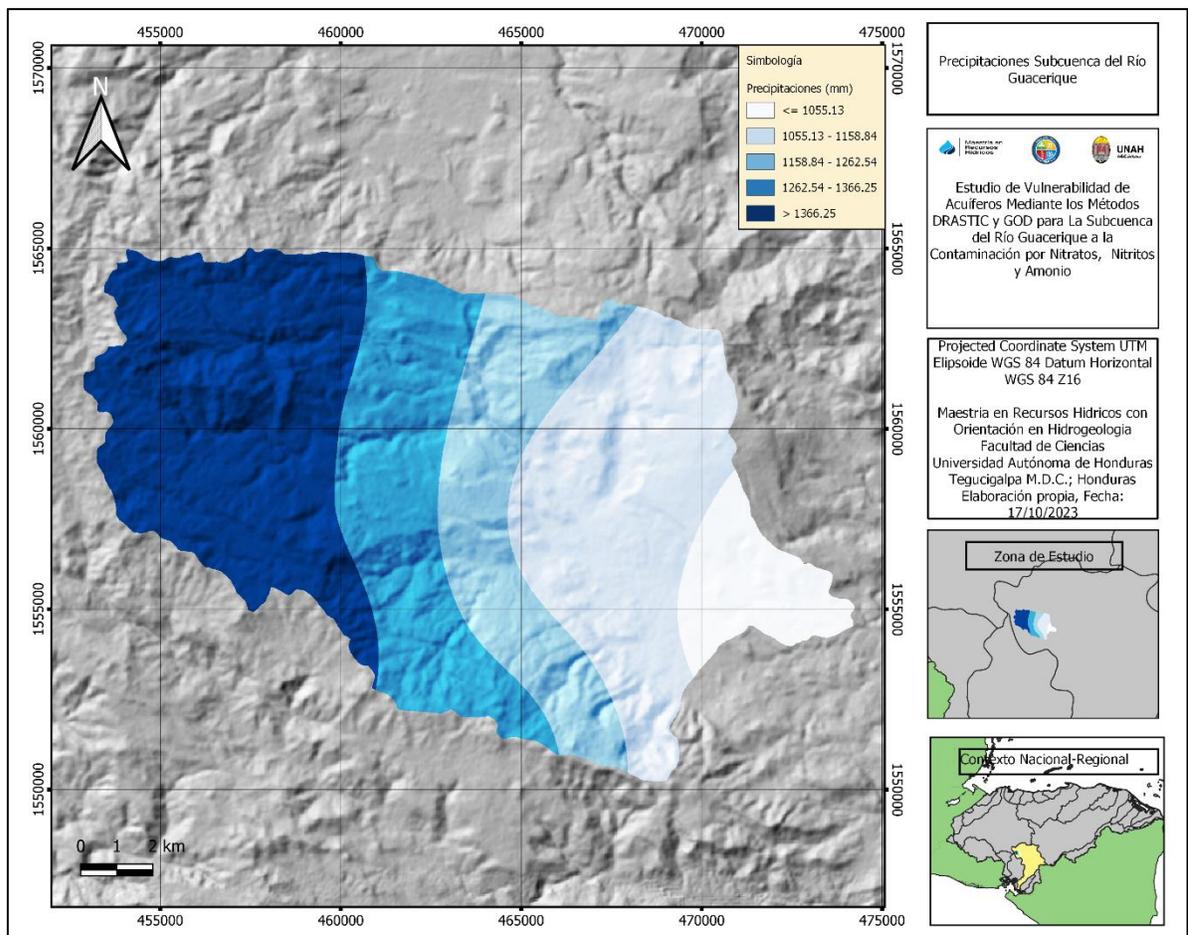


Gráficos 1. Temperatura a nivel mensual Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de SANAA e IHCIT

Las precipitaciones mínimas de la subcuenca es de 951.42 mm/año con valores máximos de 1469.96 y una media de 1251.23 mm/año. Los meses con menos precipitaciones es enero con 11.01 mm, febrero con 8.43 mm y marzo con 13.87 mm; en comparación con los meses con mayores precipitaciones que es mayo con 185.53 mm, junio con 201.92 mm y septiembre con un valor 204.49 mm.



Gráficos 2. Precipitación a nivel mensual Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IHCIT-UNAH.



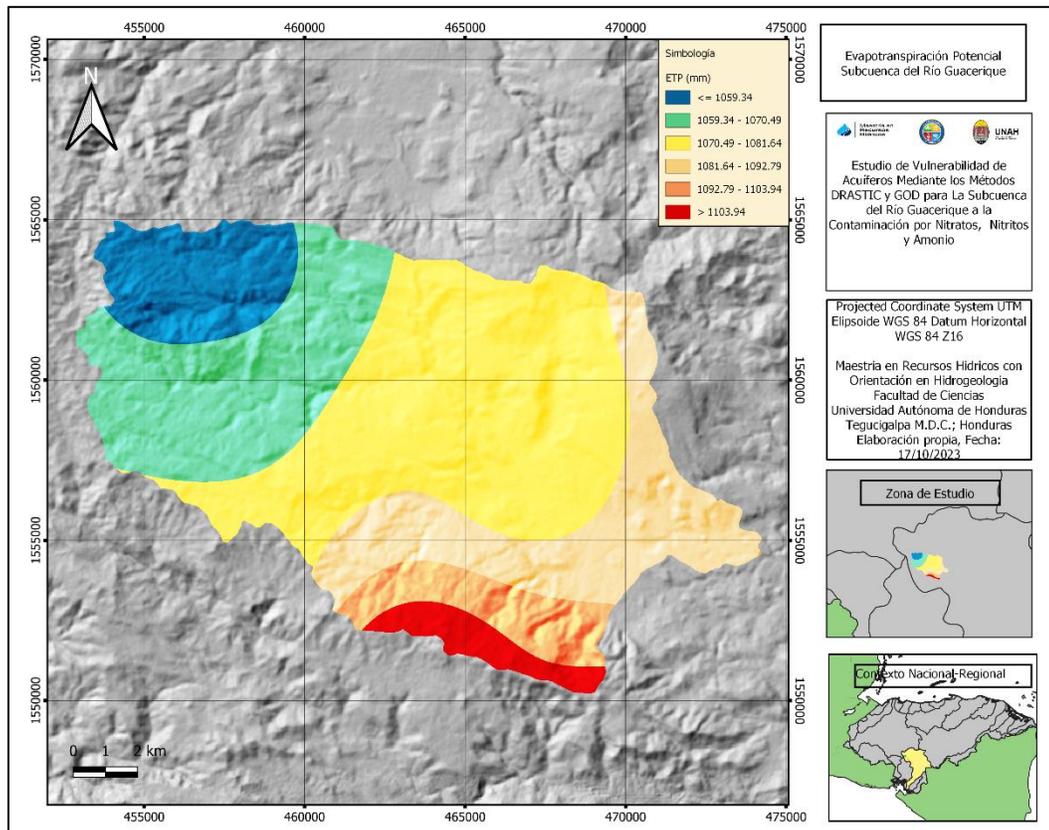
Mapa 1. Mapa de Precipitaciones Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: Elaboración Propia, a partir de la serie histórica de precipitaciones de las estaciones meteorológicas del área de influencia de la zona de estudio, tomado de la base de datos del SANAA e IHCIT.

La evapotranspiración potencial en la Subcuenca del Río Guacerique tiene un valor mínimo 1048.19 mm/año y máximos 1115.09 mm/año con un valor medio estimado de 1076.16 mm/año. Los meses de noviembre, diciembre y enero tiene menor evapotranspiración potencial (ETP) con valores de 71.35 mm, 66.63 mm y 67.23 mm y los meses de abril, mayo y junio tiene mayor ETP con valores de 111.05 mm, 111.75 mm y 104.75 mm, tal como se detalla a continuación:



Gráficos 3. Variación mensual de los valores ETP.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de temperatura de SANAA e IHCIT.

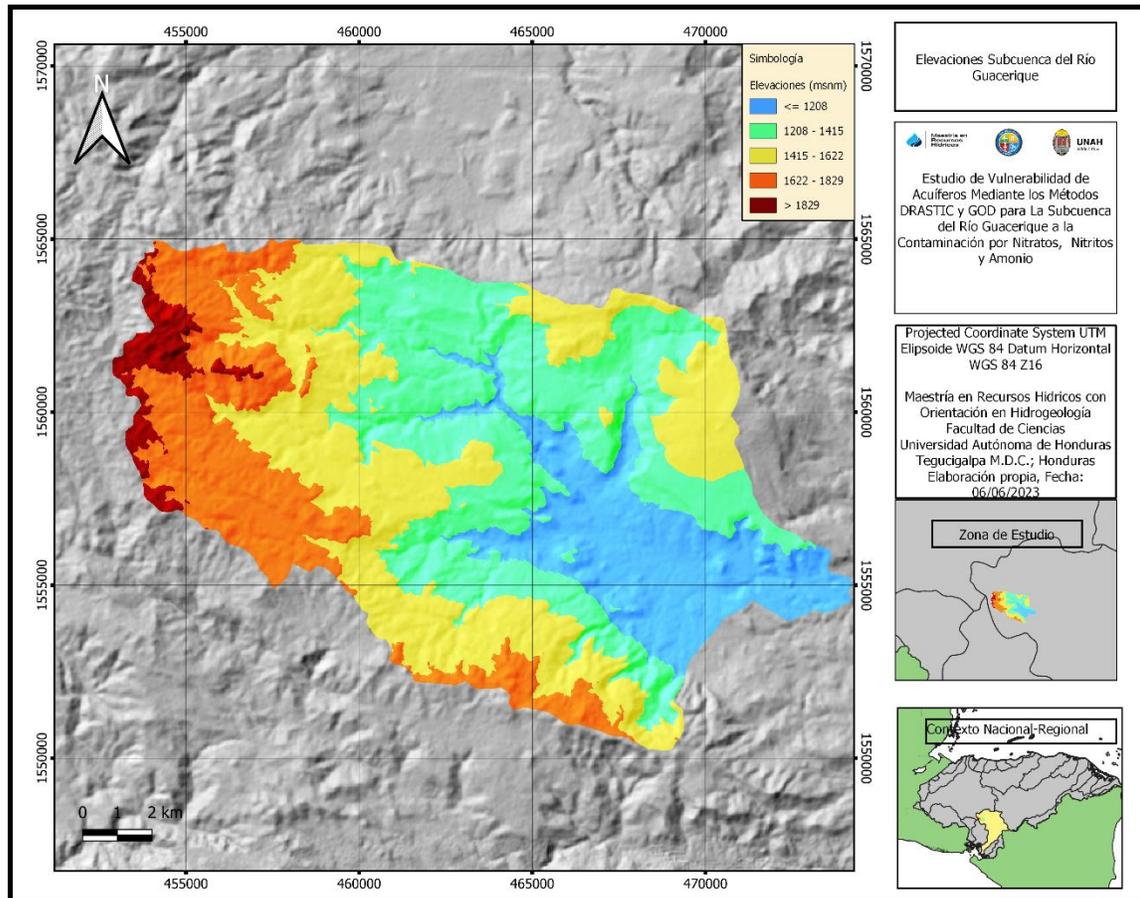


Mapa 2. Evapotranspiración potencial.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de la series histórica de temperaturas SANAA-IHCIT

B. Topografía y pendiente

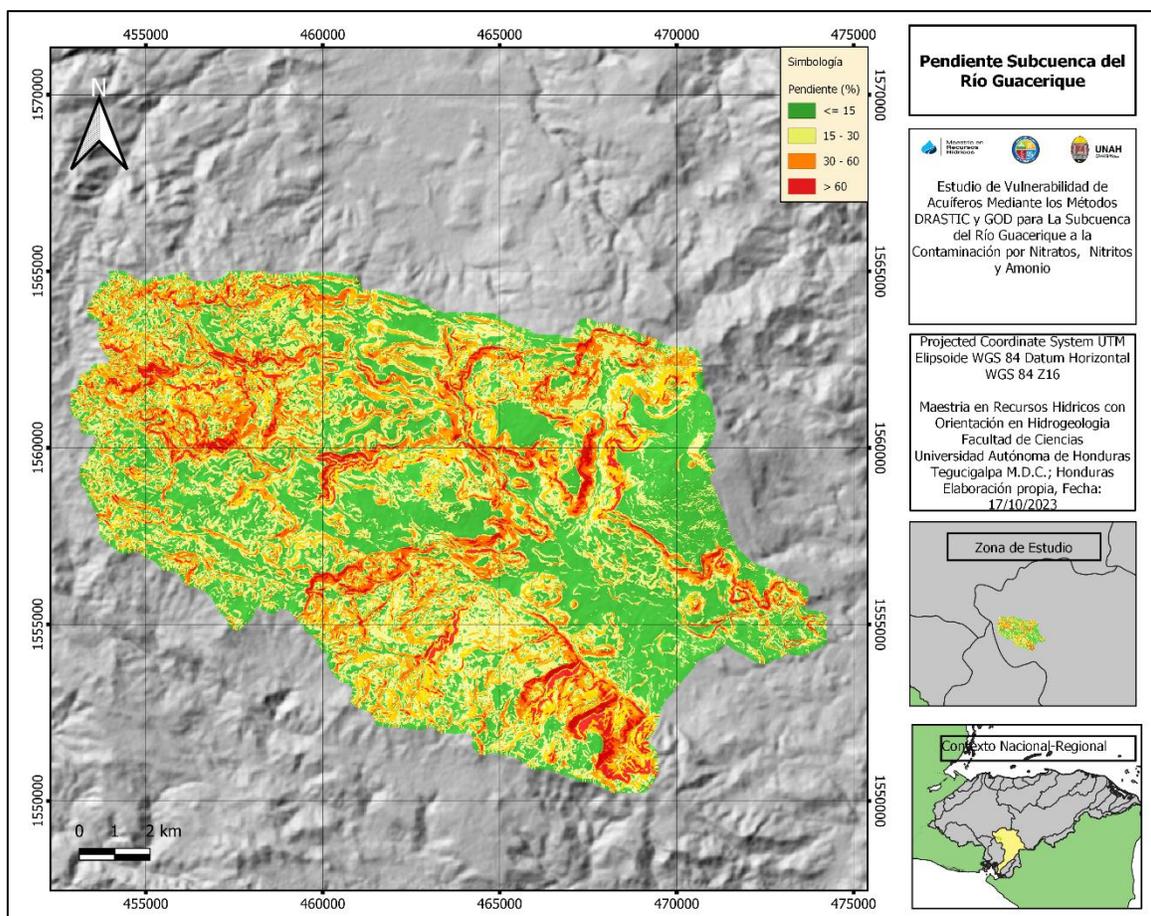
Las elevaciones en la Subcuenca del Río Guacerique oscilan entre 1001.75 mm y los 2035.30 msnm, con un valor medio de 1431.85 msnm, cuya área es mayormente montañosos. Por medio de los datos de elevación digital a cada 10 metros de la subcuenca del río Guacerique, se obtuvo el siguiente mapa:



Mapa 3. Elevaciones Guacerique.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los datos de elevaciones del SANA.

La subcuenca se caracteriza por tener una topografía bastante irregular, con pendiente que van de moderadas a fuertes, con valores medios 25.46%, como se detalla en el siguiente mapa:



Mapa 4. Pendiente Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los datos de elevaciones del SANAA, a cada 10 metros.

C. Morfología

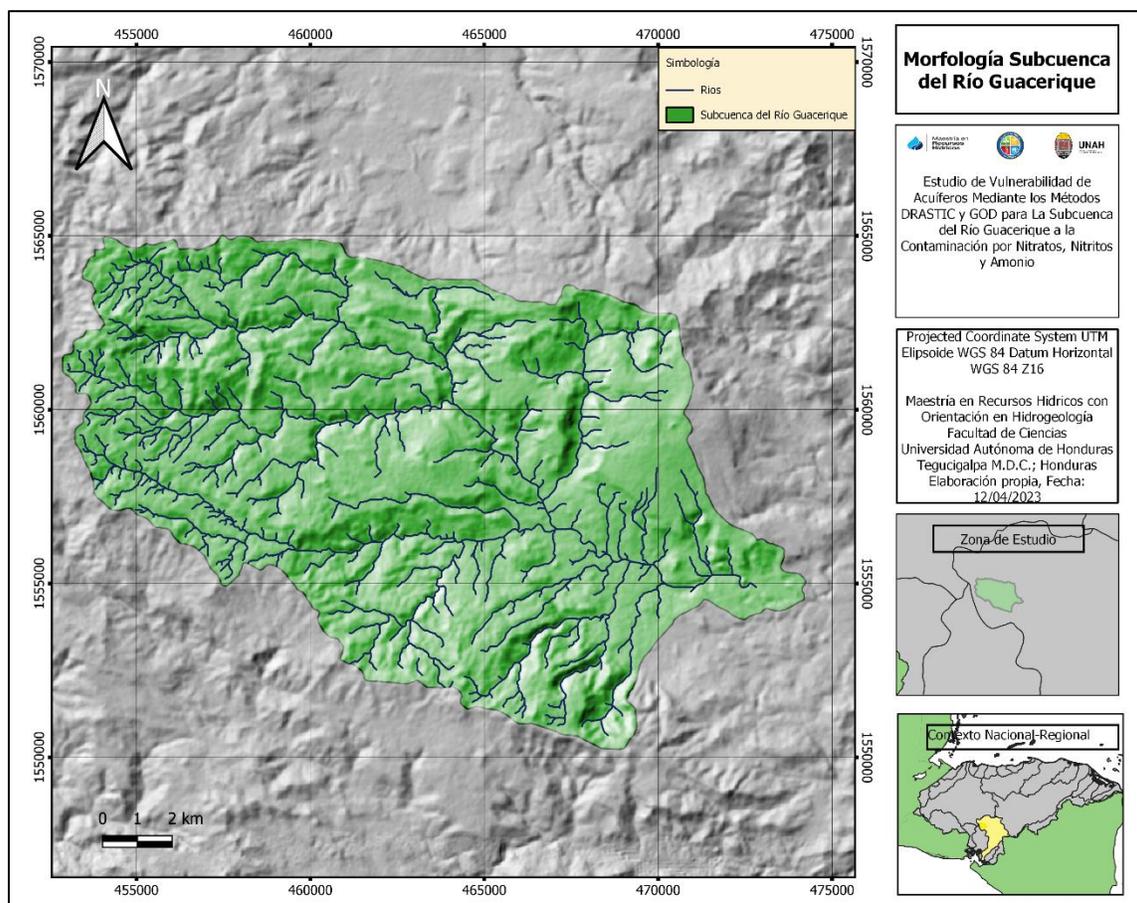
La morfología son las características físicas de la cuenca, el cual está estrechamente relacionado con la escorrentía superficial y caudal del mismo. Las principales características de la morfología de la Subcuenca se muestran a continuación:

Descripción	Cantidad	Unidad de Medida
Área	210.063	Km ²
Perímetro de la cuenca	66.7	Km
Cota max	2000	msnm
Cota min	1020	msnm
Altitud media	1426	msnm
Pendiente media	17	%
Longitud del curso principal	27	km
Longitud de la red hídrica	175.5	Km

Descripción	Cantidad	Unidad de Medida
pendiente promedio de la red hídrica	12.3	%
Tiempo de concentración Rziha	1.51	horas
Tiempo de concentración Kirpich	156.98	Min
Tc Total	4.11	Horas
Pendiente del cauce principal	28.14	%
Coefficiente de Compacidad de Gravelius	1.358	Adimensional
Densidad de drenaje	0.91	Adimensional

Tabla 5 Características Morfométricos de la Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: SANAA-ICF (2012).



Mapa 5. Morfología Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: Elaboración propia, a partir de la base de datos del SANAA.

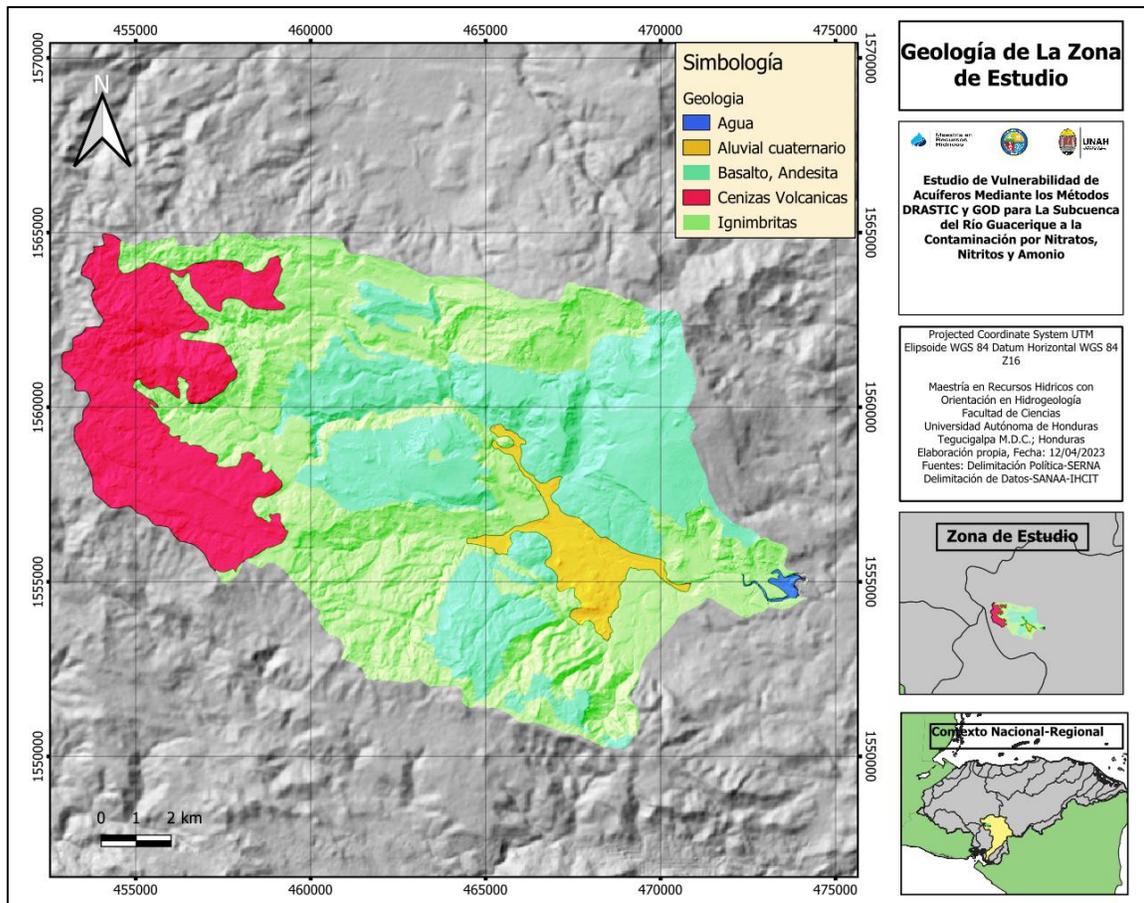
D. Geología

La subcuenca del Río Guacerique se caracteriza por la presencia de sedimentos antiguos de la época cretácica, en un ambiente de formación costera o lagunar, presentando fases de deposición sub-aérea continental y evaporita; estos sedimentos de tonalidad rojo o amarillenta probablemente

apoyados sobre un basamento metamórfico no aflorante en el área, en el terciario inferior fueron sometidos a tectonismos compresiva que ha producido pliegues y fallas inversas. La compresión tectónica se ha dado a la largo del eje norte-sur, produciendo diferentes tipos de pliegos, según la ductilidad o fragilidad del material, asociada con la orogénesis Laramidica (ICF & SANAA, 2012).

Al final del terciario, se presentó una acción tectónica relajante conectada a la formación de la depresión de Honduras, ha permitido establecerse antes de un vulcanismo que se ha manifestado con la deposición de ignimbritas. En el cuaternario se suscitó la deposición de lava basáltica, producida por numerosos conos volcánicos. Las ignimbritas presenta una variedad de fallas con diferentes rumbos (norte-sur, suroeste-noroeste), en comparación con los basalto que no presenta fallas, pero si una cantidad importantes de fracturas. A continuación se enumera las diferentes formaciones o grupos geológicas que están dentro de la Subcuenca del Rio Guacerique:

1. **Grupo Padre Miguel:** Es la formación geológica predominante en la subcuenca, conformado por **andesitas, riolitas, basaltos, ignimbritas y toba (cenizas volcánicas)**. Este grupo geológico fue definido en Guatemala y posteriormente utilizados en las formaciones volcánicas ácidas del Mioceno del Istmo Centroamericano, (Ruiz, 2017).
2. **Aluviones del Cuaternario:** Los aluviones del cuaternario generalmente ocupan los pisos de los grandes valles, las costas, y los pies de las montañas, presentado por lo general por terrazas aluviales (Corrales, 2010). En general está conformado por arenas, gravas y canto rodado.



Mapa 6. Geología Subcuenca del Río Guacerique,
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los datos SANAA-IHCIT

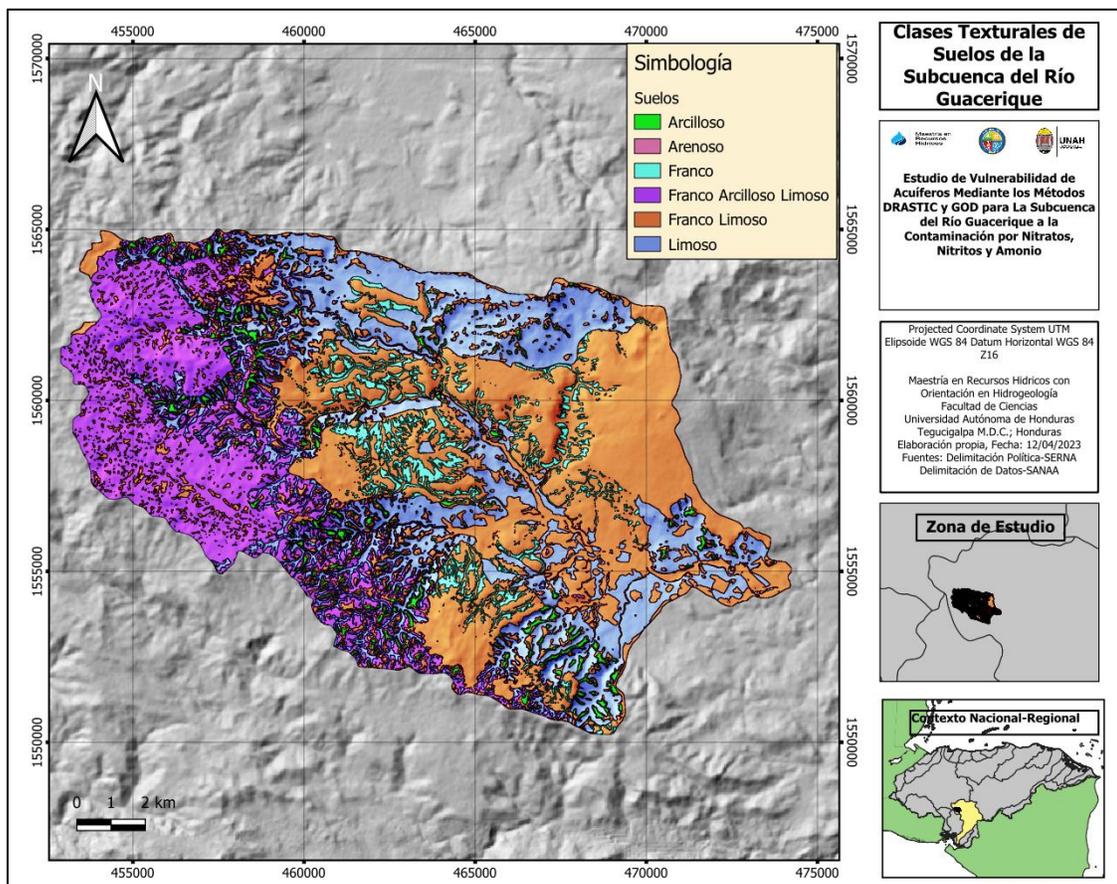
E. Suelos

Los suelos juegan un papel importante en la infiltración del agua hacia el medio saturado. En Guacerique existen diversos tipos de suelos, la cual se clasifica según su textura. La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo (FAO, s.f.) . Con la data base facilitada por el Sistema Nacional de Acueducto y Alcantarillado (SANAA), se obtuvo la información de clasificación de suelos según su textura, conforme a la metodología establecida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA por sus siglas en ingles), existiendo 6 valores texturas del suelo en la zona de estudio, donde el franco limoso representa el 42.58% del total del territorio de la Subcuenca, seguido de limoso 26.97% y franco arcillosos-limoso con 23.85%, por debajo las otras 3 clases texturales, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Clases Texturales	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Franco Arcilloso	4575.46	23.85%
Limoso	0.01	0.00%
Arenoso	5175.14	26.97%
Franco Limoso	8170.60	42.58%
Franco	916.43	4.78%
Arcilloso	349.25	1.82%
Total		100%

Tabla 6. Clases texturales del suelo.

Fuente: Elaboración Proponía, obtenidos de la base de datos de SANAA.



Mapa 7. Clases Texturales de Suelos Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los datos ráster del contenido de arenas, limos y arcillas, base de datos del SANAA.

F. Cobertura de uso del suelo

El mapa de uso de suelo de la subcuenca del Río Guacerique tomo como base el mapa de cobertura forestal y uso de la tierra, del año 2018; elaborado por la Unidad de Monitoreo Forestal del ICF, con el apoyo técnico y financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), a través del proyecto Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (REDD+/FAO) (ICF, 2021).

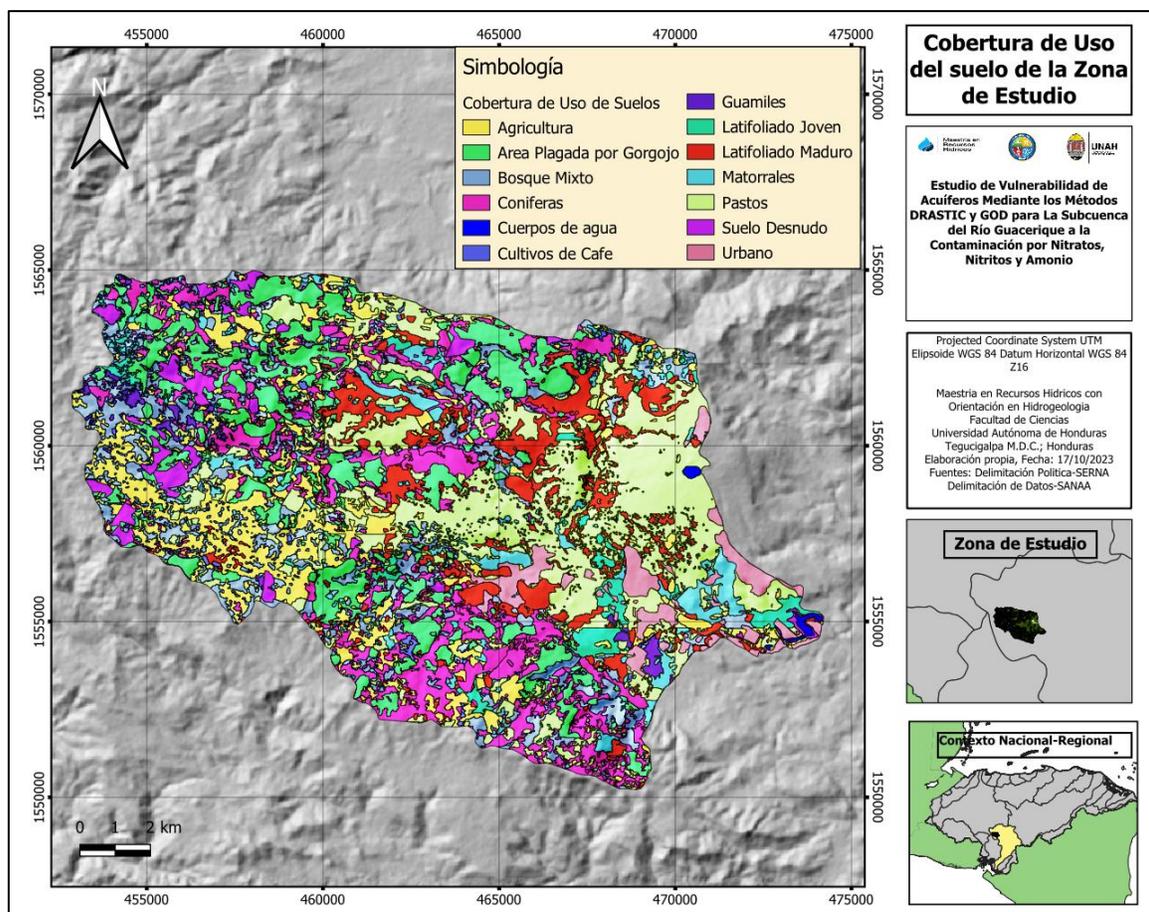
La Subcuenca del Río Guacerique debido al avance de la frontera agrícola y expansión del casco urbano ha causado la pérdida de bosque, un elemento indispensable en la conservación de la calidad y cantidad de los recursos hídrico, sumado a esto, los eventos de sequías extremas, ha aumentado su fragilidad, quedando expuesto a la plaga del gorgojo descortezador del pino, afectando grandes extensiones de bosque de conífera

Uso de Suelos	Área (Hectáreas)	Porcentajes
Urbano	668.75	3.51%
Agricultura	2531.52	13.27%
Área Plagada por Gorgojo	2891.99	15.16%
Áreas de alta erosión (462.07	2.42%
Bosque Conífera Denso	1862.45	9.76%
Bosque Conífera Ralo	901.45	4.72%
Bosque Latifoliado Deciduo	885.39	4.64%
Bosque Latifoliado Joven	70.32	0.37%
Bosque Mixto	2087.67	10.94%
Bosque Mixto Joven	86.39	0.45%
Cuerpos de agua	41.58	0.22%
Cultivos de Café	60.89	0.32%
Guamiles	165.83	0.87%
Latifoliado Joven	394.19	2.07%
Latifoliado Maduro	868.63	4.55%
Matorrales	880.70	4.62%
Pastos	4194.23	21.98%
Suelo Desnudo	25.14	0.13%

Tabla 7. Mapa de uso y cobertura de uso del suelo, Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de cobertura de uso de suelo del SANAA.

Como se muestra en el cuadro anterior el área con mayor porcentaje son los pastizales con el 21.98%, seguido del bosque plagada con el 15.16%, y la agricultura con el 13.27%, representando 50.41% de la Subcuenca, siendo parte del proceso de degradación de tierra que sufre esta área de interés hídrica.



Mapa 8. Cobertura de Uso del Suelo Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de la base de datos del SANAA, Departamento de Cuencas Hidrográficas.

G. Hidrología

El Río Guacerique nace en la montaña de rincón de Dolores con confluencia Guaralalalo, Quiscamote, Guajjire, Guacerique abajo y Quiebramontes. La cuenca tiene un área aproximada de 244.2 km². A continuación se presenta las principales microcuencas del Río Guacerique:

Corriente	Área de Drenaje (Has)	Densidad de Drenajes (Km/Km ²)	Elevación Media (msnm)	Pendiente Media (%)
Guaralalao	4408.08	0.76	1309	21
Quiscamote	33220.48	0.64	1460	20
Quiebramontes	2928.64	0.81	1420	23
Guajjire-Mateo	4221.12	0.87	1461	19
Guacerique Bajo	4629.68	0.90	1080	18

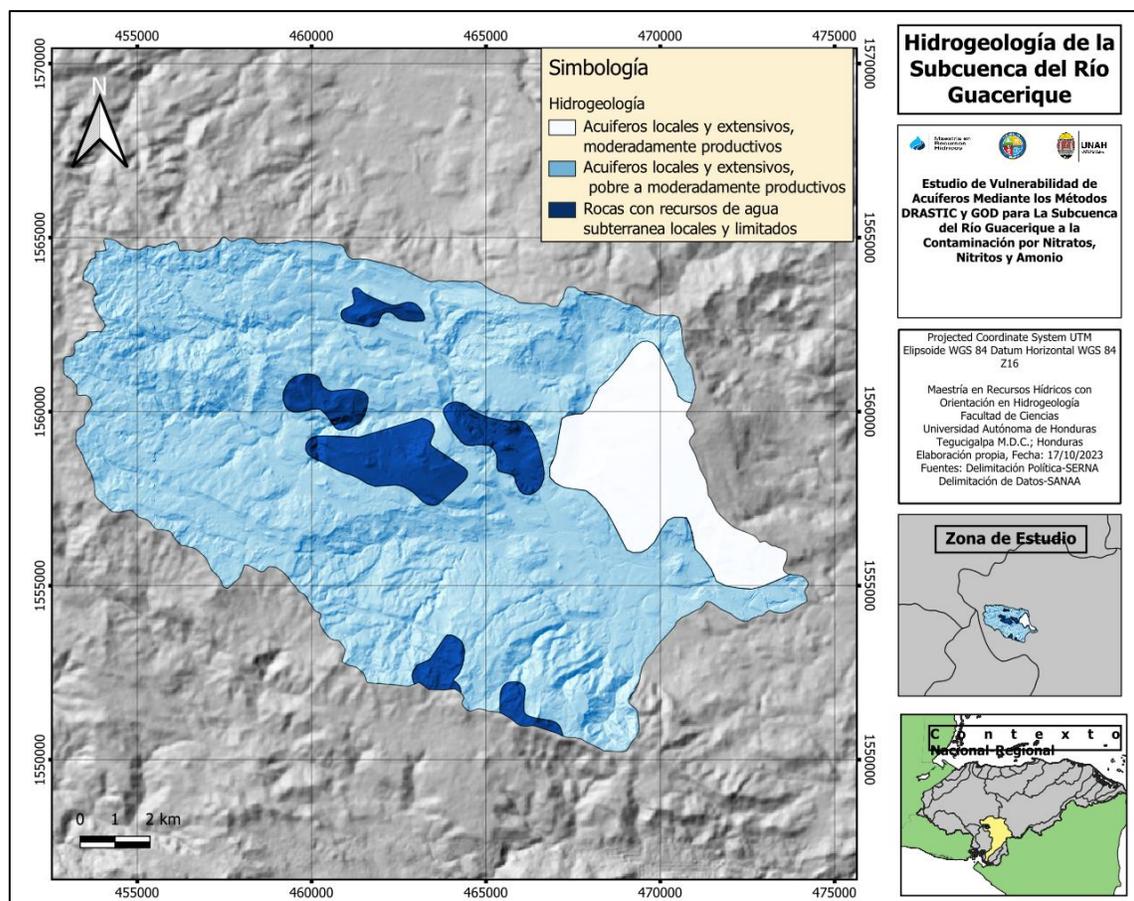
Tabla 8. Microcuencas del Río Guacerique
Fuente: Hernández Cáceres, (2003).

El caudal promedio anual de Río Guacerique presenta grandes variaciones entre 3.40 m³/seg en septiembre y 0.0001 m³/seg en abril (ICF & SANAA, 2012), dándonos un rango medio 1.70 m³/seg.

H. Hidrogeología

Tomando como base la geología de la subcuenca del Rio Guacerique, su potencial hídrico-subterráneo difiere en función de su porosidad. La mayor parte de la subcuenca es de origen volcánico con una porosidad primaria baja, pero con presencia de fracturas o diaclasas dando como resultados porosidades secundarias con alto potencial hidrogeológico. Además, en la parte bajo de la subcuenca existen depósitos de material sedimentario compuesto arenas, gravas y canto rodados, los cuales cuenta con alto potencial hidrogeológico, por su alta porosidad primaria.

El Centro de Estudios Experimental y de Obra Publicas (CEDEX) del Gobierno de España en el año 2003 desarrollo el balance hídrico Nacional, para lo cual definió el Mapa Hidrogeológico, tomando como base las unidades litológicas del Mapa Geológico del País. A continuación se presenta el mapa Hidrogeológico de la Subcuenca del Río Guacerique:



Mapa 9. Hidrogeología Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: Elaboración Propia, a partir de la base de datos de la SERNA.

La mayor parte del territorio de la subcuenca, está conformado por acuíferos locales y extensivos, pobre a moderadamente productivos que representa el 81.39%, seguido de acuíferos locales y extensivos, moderadamente productivos con un 10.39% y por último rocas con recursos de agua subterránea locales y limitadas, como se detalla en la siguiente tabla:

Hidrogeología	Área		Porcentaje
	(m ²)	(has)	
Acuíferos locales y extensivos, moderadamente productivos	19940629.77	1994.062977	10.39%
Rocas con recursos de agua subterránea locales y limitados	15776267.29	1577.626729	8.22%
Acuíferos locales y extensivos, pobre a moderadamente productivos	156154159.9	15615.41599	81.38%

Tabla 9. Proporción de las formaciones hidrogeológicas, Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de la base de datos de la SERNA.

I. Hidroquímica

Los valores hidroquímicos e hidrogeoquímico del medio hídrico en la Subcuenca del Río Guacerique tienen variaciones sustanciales en las zonas más cercanas al embalse, y en especial en el espejo de agua, mostrando cierto nivel de eutrofización por la presencia de nutrientes en el medio acuático.

Los valores altos y variables de conductividad eléctrica nos indica la presencia de cationes y aniones que puede alterar las características físico-químicas del agua, la subcuenca del Río Guacerique en concentraciones de más $400\mu\text{S}/\text{cm}$ (IHCIT, 2014), indicando la presencia de iones que puede alterar las características químicas normales del agua.

Los cationes como el calcio, potasio, sodio, magnesio y aniones como cloruro, sulfato, nitratos, nitritos, amoníaco, amonio y fosfato, varían de manera estacional, en especial la época seca que presenta mayores concentraciones; a excepción de los nitratos, nitritos y amonio con un comportamiento casi neutral, exceptuando en la época lluviosa en la parte baja de la subcuenca, que presenta un aumento de concentraciones en comparación con la época seca (IHCIT, 2014). El amoníaco tiene un comportamiento neutral en época seca y lluviosa en las aguas subterráneas, a excepción del agua superficial que presenta un aumento de concentraciones. En el año 2022 los concentraciones de compuesto nitrogenados no difiere con lo planteado en años anteriores, para los nitritos 0.0087 mg/l , nitratos 0.78 mg/l y el amonio por arriba del valor recomendado con 0.13 mg/l (IHCIT, 2014).

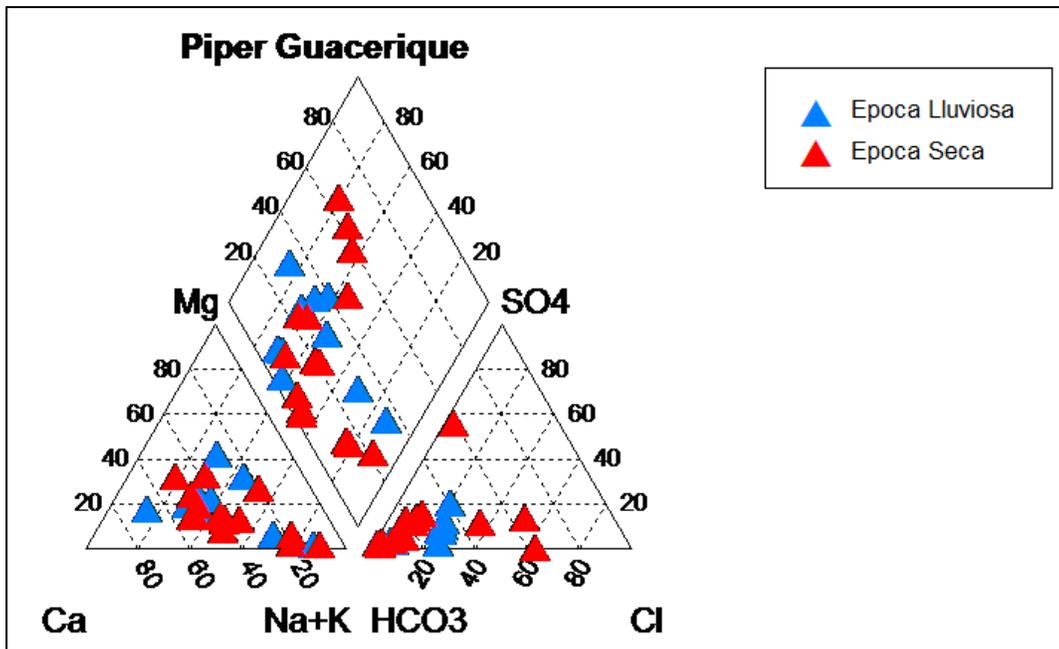


Ilustración 2. Diagrama de Piper Subcuenca del Rio Guacerique.

Fuente: Estudio Hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del Rio Choluteca, IHCIT (2014).

Subcuenca	Censos	Muestras Pozos	Muestras Ríos	TOTAL
Guacerique	20	26	10	55

Tabla 10. Cantidad de sitios muestreados para determinar los valores físicos químicos de la subcuenca.

Fuente: Estudio Hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del Rio Choluteca, IHCIT (2014).

El comportamiento iónico del agua subterránea y superficial de la Subcuenca del Rio Guacerique hace que tenga una clasificación de Bicarbonatada Sódica y Potásica con ausencia de magnesio y cloruros (IHCIT, 2014).

En el caso de los metales pesado existe un aumento anómalo de plomo en las aguas subterráneas presentes en la parte alta de Subcuenca del Río Guacerique en época lluviosa (IHCIT, 2014), la que representa un grave riesgo a la salud de las personas y los ecosistemas.

5. Capítulo V: Metodología

5.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de carácter **Cuantitativo del tipo Descriptivo**. Es cuantitativa debido a que gran parte de la información se expresa de manera numérica y es descriptiva porque busca saber las condiciones del medio hidrogeológico ante un factor externo, es decir, identificar cual es la susceptibilidad del agua subterránea hacia la contaminación desde la superficie.

5.2 Hipótesis de la investigación

La subcuenca del río Guacerique presenta alto niveles de vulnerabilidad hacia la contaminación provenientes desde la superficie, existiendo una susceptibilidad significativa por la presencia de nitratos, nitritos y amonio en la época de verano.

5.3 Diseño de la investigación

El estudio de tesis consta de 7 procesos básicos y 10 subprocesos, detallados de la siguiente forma:

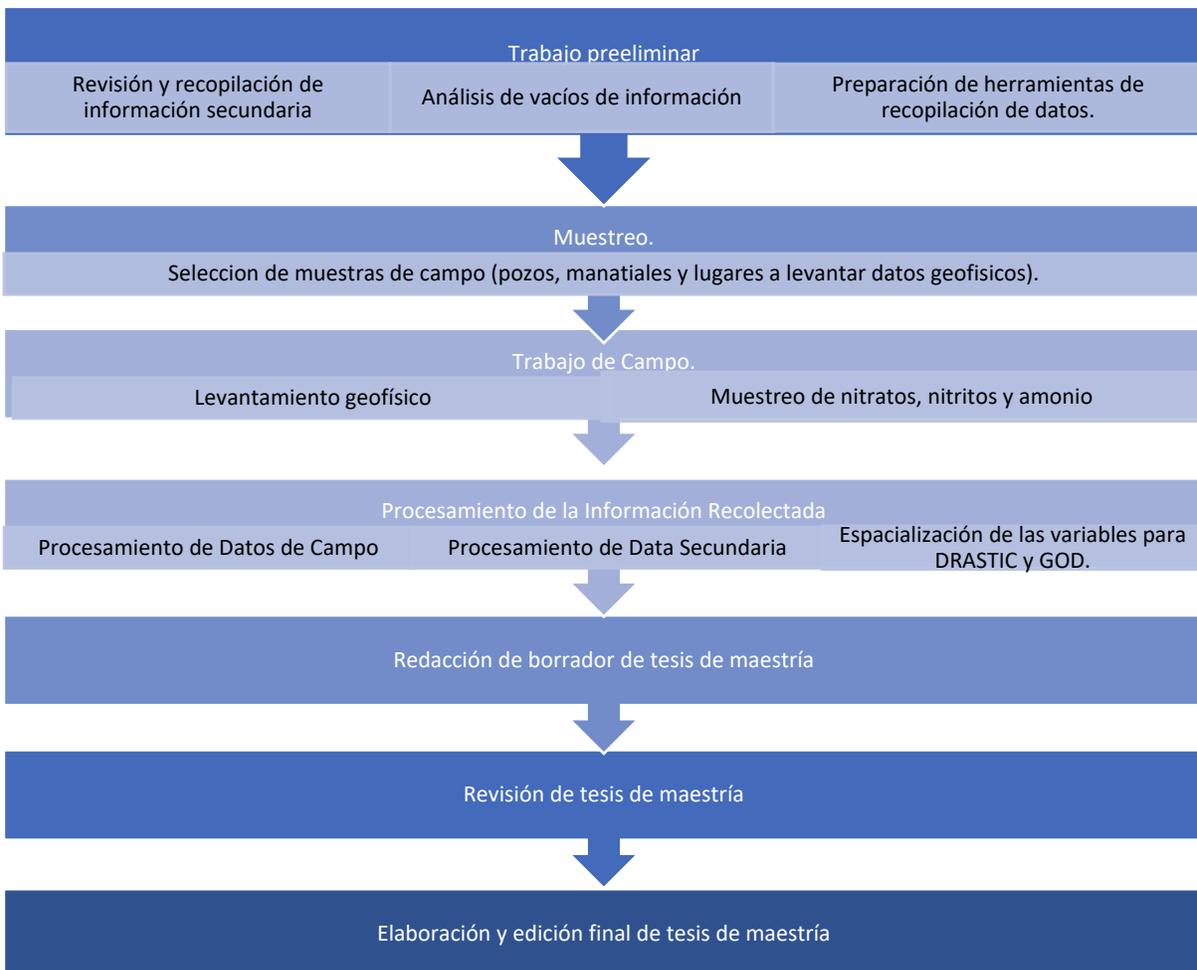


Ilustración 3. Proceso de Elaboración de la Tesis.

Fuente: Elaboración Propia

Cada uno de estos pasos, nos permite saber cuáles son las acciones a realizar en el desarrollo del procesos de investigación, en la obtención de información secundaria y primaria, así como el procesos de análisis de la información y el desarrollo del modelo de vulnerabilidad de acuífero (DRASTICy GOD), además de la edición del informe de tesis, revisión y versión final de la investigación.

A. Recopilación información secundaria

La obtención de la información secundaria para el desarrollo de los modelos de vulnerabilidad de acuífero se desglosa de la siguiente manera:

1. MDE (Modelo de Elevación de Digital con valores de espaciamiento de 10 metros), cobertura de uso de suelos, ráster de texturas de suelos (arcillas, limos y arenas), polígono de la subcuenca fue facilitado por Servicio Autónomo Nacional de Acueducto y Alcantarillado (SANAA), a través del Departamento de Cuencas Hidrográfica el cual es el co-manejador de la Subcuenca del Río Guacerique.
2. Geología, datos de las estaciones meteorológica que incluye registro de precipitaciones y temperatura, inventario de pozos, manantiales y cuerpos de aguas por parte Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT).

También se obtuvo otros datos importantes de investigaciones en el ámbito hidrogeológico, hidrogeoquímico e hidrológico como ser:

1. Atlas Climático y de Gestión de Riesgo de Honduras.
2. Estudio Hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del Río Choluteca.
3. Evaluación de los Recursos Hídricos en su Régimen Natural y otros

Además, se identificó otras fuentes bibliográficas que contribuyeron para la obtención de información relevante para la investigación, la cual es parte de la fuente información bibliográfica mencionada a lo largo del presente documento.

B. Trabajo de campo

Muestreo de nitratos, nitritos y amonio

Para poder muestrear nitratos, nitritos y amonio se realizará las siguientes actividades:

1. Delimitación de los lugares de muestreo que en total fueron 25 puntos de muestreo para cada uno de los iones medidos (nitratos, nitritos y amonio), dividiéndose de la siguiente manera; 1)

Siete (7) pozos artesanales o malacate, 2) Doce (12) manantiales 3) Cinco (5) quebradas 4) Una. (1) laguna.

2. Llenados de fichas de campos y así como etiquetas para las muestras.
3. Llenado de la cadena de custodias con los datos visibles del área de muestreo (fecha, hora, lugar, coordenadas, código de pozos y otros).
4. Uso de frasco de muestras, 2 muestras por cuerpos de agua; 1 frasco con un contenido de 256 ml para nitratos y nitritos; 1 frasco de 256 ml para el amonio.
5. Enjuague tres veces el frasco de muestra y llenado del mismo.
6. Aplicación de 1 ml de ácido sulfúrico 0.1 Normal a las muestras de nitritos y nitratos para su preservación.
7. Depósito y uso de hieleras y hielo para preservación de las muestras.
8. Traslado y resguardo de la muestra al laboratorio.

Dentro de los criterios de selección para los sitios a muestrear son los siguientes:

1. Accesibilidad al sitio de muestreo para la recolección y transporte de las muestras.
2. Obtener un mínimo de dos muestras por formación geológica, con el objetivo de correlacionar los datos con la geología y la vulnerabilidad de acuífero.
3. En el caso de muestreos de las quebradas u otros cuerpos de agua superficiales debe ser en la cercanía del partes aguas o en zonas con una altura considerable cercano a su naciente.

Se realizará el análisis de resultados de la muestra, así como su espacialización, para poder visualizar la carga contaminante y así hacer uso del mismo, para comparar con el modelo de vulnerabilidad de acuífero utilizado.

Levantamiento geofísico

Entre los aspectos generales a considerar para el levantamiento de datos mediante el método eléctrico resistivo (tomografía eléctrica) se utilizó el arreglo Wenner el cual es el más adecuado para la prospección del medio hidrogeológico, ya que es sensible a los cambios verticales de los valores de resistividad en el subsuelo.

La elección de los sitios para las actividades de prospección geofísica se determinó mediante la geología del sitio, cuerpos de aguas más cercano y las posibles áreas de recarga y descarga del agua subterránea (zonas de alta pendiente y cercanías de cuerpo de agua como ríos y quebradas), además se utilizó los levantamiento geofísico ya existentes para así determinar otros lugares para obtener

una mayor homogenización de la información del área en estudio. Se determinó 10 lugares para el levantamiento mediante el método de tomografía eléctrica, lo que nos permitirá saber el nivel freático y las características estratigráficas de la zona no saturada y saturada.

El equipo utilizado para el desarrollo del levantamiento geofísico son los siguientes:

1. 1 equipo de tomografía eléctrica marca ABEM Terrameter System
2. 1 batería de carro de 12 voltios, 95 amperios.
3. 2 carretes de 100 metros
4. 40 electrodos de cobre
5. 40 conectores o pichetas.
6. 1 GPS marca Garming Map 64s
7. 2 Almádana

Los pasos para levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica son los siguientes:

1. Identificación de los lugares más idóneos para el levantamiento geofísico (que en total fueron 10 sitios), para la instalación de 40 electrodos. Estos sitios deben contener una línea recta, con un pendiente homogéneo sin inclinación, con un mínimo de 200 metros.
2. Desplazamiento de los carretes de 200 metros , instalación de los 40 electrodos y los 40 conectores
3. Puesta en marcha y calibración del Terrameter, se elige el arreglo Wenner para la interpolación de los datos de resistividad eléctrica
4. Se georreferencia cada extremo de la sección del levantamiento geofísico así como su punto medio.
5. Por cada levantamiento geofísico se llena la ficha eléctrica 2D, con información como ser; fecha, encargado, coordenadas, ubicación, numero de electrodos, espaciamiento, método, orientación, observaciones y el croquis del arreglo geofísico.
6. La información obtenida se descarga en el ordenador, para su procesamiento mediante el programa RES2DINV, la cual realiza una inversión por mínimos cuadrados y elementos finitos para obtener los valores de resistividad aparente de la sección transversal medida.

Los datos geofísicos obtenidos y representados en un perfil geofísico en 2D de resistividades aparentes, nos servirá para obtener características del medio como ser; profundidad del nivel freático, características litológicas de la zona saturadas y no saturada.

Medición del nivel freático en los pozos

La medición del nivel freático se realizó a 5 pozos malacates ubicados en el área de estudio, para esto se utilizó una sonda de nivel Marca Solints de 100 metro (300 pies). Las sondas mediante el sensor de nivel nos indica la profundidad del nivel de agua en el pozo, este mismo es registrado en la ficha información para fuentes subterráneas (anexo 3).

C. Procesamiento de datos

Al obtener los datos de campo y de información secundaria, esto mismo se procesaran según la metodología establecida (DRASTIC y GOD), además se espacializaran, se interpolara datos y se utilizó el álgebra de mapas para determinación de las variables de los modelos de vulnerabilidad GOD y DRASTIC. El Software utilizado para el desarrollo de las variables espaciales es QGIS, es un software de uso libre y código abierto para GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android, en el cual se puede desarrollar trabajo de edición, análisis y procesamiento de datos vectoriales y rasters. Además para el desarrollo del mapa de suelos según su textura se utilizó SAGA un Sistema de Información Geográfica (GIS) de código abierto utilizado para editar y analizar datos espaciales, que incluye una gran cantidad de módulos para el análisis de datos vectoriales, tabla, cuadrícula e imagen, esto incluye módulos para geoestadística, proyecciones, simulación de procesos dinámicos (hidrología, desarrollo del paisaje) y análisis del terreno (OSGeoLive, 2011).

D. Determinación de vulnerabilidad según DRASTIC y GOD.

D (depth) Profundidad del agua subterránea

La profundidad del nivel freático o aguas subterránea se genera a través de la medición de pozos malacates en campo, cuya ubicación se obtiene del inventario de pozo existente en el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) en la Subcuenca del Río Guacerique, además se complementa, con actividades de prospección geofísica (tomografía eléctrica), en aquellas zonas donde carecían de pozos, para obtener la información de piezometría de la zona saturada. También de la base de datos del IHCIT, se obtiene información de levantamiento geofísicos mediante los métodos de potencial natural; y de la tesis *“Caracterización Hidráulica del Campo de Pozos Hacienda Guacerique y Quebramontes en La Parte Media de La Subcuenca del Rio Guacerique”* elaborado por Rojas (2019), por medio de Sondeos Eléctricos Verticales.

Los datos obtenidos se georreferenciaron en coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) de alrededor de 19 puntos de muestreo, permitiendo discretizar el medio continuo, es decir la zona saturada. Se midió el nivel freático de 5 pozos malacates; 10 prospecciones geofísicas mediante el

método de tomografía eléctrica; 2 puntos de muestreo de la base de datos del IHCIT 2022 mediante el método de Potencial Natural; y 2 Sondeos Eléctricos Vertical (SEV) tomado de Rojas (2019).

Con los puntos de muestreos, se interpolaron los datos en el SIG utilizando el método krigging Simple, para obtener el raster de nivel freático de la subcuenca. Al ráster se le asigno los pesos de ponderación según su profundidad como se detalla en la siguiente tabla:

D (Profundidad del Nivel freático)	
Profundidad (m)	Clasificación Dr
0 – 1.5	10
1.5 – 4.6	9
4.6 – 9.1	7
9.1 – 15.2	5
15.2 – 22.9	3
22.9 – 30.5	2
> 30.5	1

Tabla 11. Profundidad del Nivel Freático.

Fuente: Aller et al., (1987)

Asimismo, se desarrolló una reclasificación de esta variable, según su rango de ponderación, utilizando el álgebra de mapa. Para poder reclasificar el nivel freático según DRASTIC se utilizó la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & ((\text{"Nivel Freático"} \geq 0) \text{ AND } (\text{"Nivel Freático"} < 1.5)) * 10 + ((\text{"Nivel Freático"} \geq 1.5) \text{ AND } (\text{"Nivel Freático"} < 4.6)) * 9 + \\
 & ((\text{"Nivel Freático"} \geq 4.6) \text{ AND } (\text{"Nivel Freático"} < 9.1)) * 7 + ((\text{"Nivel Freático"} \geq 9.1) \text{ AND } (\text{"Nivel Freático"} < 15.2)) * 5 + \\
 & ((\text{"Nivel Freático"} \geq 15.2) \text{ AND } (\text{"Nivel Freático"} < 22.9)) * 3 + ((\text{"Nivel Freático"} \geq 22.9) \text{ AND } (\text{"Nivel Freático"} < \\
 & 30.5)) * 2 + ((\text{"Nivel Freático"} \geq 30.5)) * 1
 \end{aligned}$$

Ecuación 12. Reclasificación del nivel freático, para los Datos de Ponderación (Dr) según DRASTIC.

Fuente: Elaboración Propia

R (recharge) Recarga neta

Los datos de precipitación, temperatura mínima y máximas se obtuvieron de las 7 estaciones meteorológicas pertenecientes al SANAA y 1 estación del Servicio Meteorológico Nacional, las cuales están dentro del área de influencia de la subcuenca. Estas estaciones son; Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Batallón, Concepción, El Escarbadero, La Brea, Las Sabanas, Quiebramontes y Rincón de Dolores. De las mismas solo se tomaron información de los últimos 30 años (1991 al 2021) de aquellas estaciones que cuenta con esta serie temporal de datos, ya que

existe algunas que no cuenta con información en este periodo de tiempo, como se detalla en la siguiente tabla:

Estación	Coordenadas		Periodo de Tiempo	Observación
	X	Y		
Rincón de Dolores			2003-2021	
El Escarbadero	456862.053	1563257.52	2003-2012	
Quiebramontes	457578.263	1559130.98	1991-2018	
Batallón	467215.44	1557369.26	1989-2021	
Las Sabanas	472168.112	1555273.07	2004-2021	
SMN	463513.803	1550605.74	1951-2021	Información faltante de agosto a diciembre de 2021
Tegucigalpa	–			
Concepción	476312.788	1554218.21	1990-2021	
La Brea	471175.4	1546172.08	1989-2021	
	457741.877	1553656.08		

Tabla 12. Estaciones Meteorológicas.

Fuente: Elaboración Propia.

La información recopilada de las estaciones meteorológicas fue revisada y tratada por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) por medio de la Unidad de Climatología, sin embargo, existió 2 estaciones con información faltante de temperaturas y precipitaciones para lo cual se realizó el relleno de datos (Anexo 6, 7 y 8).

Los datos fueron plasmados en la matriz de serie de tiempo histórica a nivel mensual y anual para cada una de las estaciones (Anexo 9, 10 y 11), necesaria para la construcción de los mapas de precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y evapotranspiración real (ETR) de la subcuenca. Además a través de las series de tiempo se calculó los valores mensuales de temperatura (Grafico 1) y precipitaciones (Mapa 1) el cual se interpola a través de un Krigging.

Para la estimación de la ETP se utilizó el método de Thornthwaite, para esto se utilizó los valores mínimos y máximos en cada estación para obtener las temperaturas medias. Este mismo se interpola a través de un Krigging según la ubicación de cada estación meteorológica. Una vez estimado la ETP para cada estación, se utilizó el método de relación matemática adimensional de Budyko (1974) para la obtención del ETR, este mismo se interpola mediante el método antes mencionado (Krigging).

Para obtención del coeficiente de infiltración de la subcuenca se utilizará el método de Losilla y Schosinsky, el cual se apoyó de los datos teóricos detallados en la tabla 1 que describe los valores para Kv, Kp y Kfc. Haciendo uso del mapa de cobertura de suelo de Guacerique, se introdujo los

valores teóricos de KV en la tabla de datos del vector según el detalle de los valores teóricos descritos (Tabla 1), para que posteriormente sea rasterizado. En el KP se generó el mapa de pendiente utilizando la herramienta de análisis ráster *Slope*, la cual se reclasificó mediante el álgebra de mapa, asignando los valores teóricos planteados (Tabla 1). Para el Kfc se utilizó las clases texturales generadas según la clasificación de las USDA, mediante la información base generada por el SANAA (Contenido arcillas, limos y arenas en formato ráster), a estos mismos se asignaron valores teóricos (Tabla 1). Una vez obtenidos los valores Kv, Kp y Kfc se generó el mapa de coeficiente de infiltración mediante álgebra de mapa, utilizando la ecuación 3.

Con las variables climáticas especializadas que son las precipitaciones y ETR, se genera el balance climático de la Subcuenca. Mediante el uso del álgebra de mapas, se realiza una multiplicación entre el balance climático y coeficiente de infiltración, para obtener la recarga hídrica del acuífero. En la recarga hídrica se asigna los pesos de ponderación según la metodología planteada como se detalla en la siguiente tabla:

R (Recarga Hídrica Neta)	
Recarga (mm)	Valoración Rr
0-50	1
50-103	3
103-178 6	6
178-254	8
> 254	9

Tabla 13. Recarga Hídrica Neta.
Fuente: Aller et al., (1987).

Para poder asignar los valores de ponderación, se realizó una reclasificación de la recarga hídrica mediante el álgebra de mapa en Qgis. Para poder reclasificar la recarga hídrica se utilizó la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & (["Recarga Hidrica@1"] \geq 0) \text{ AND } (["Recarga Hidrica@1"] < 50) * 1 + (["Recarga Hidrica@1"] \geq 50) \text{ AND } (["Recarga \\
 & Hidrica@1"] < 103) * 3 + (["Recarga Hidrica@1"] \geq 103) \text{ AND } (["Recarga Hidrica@1"] < 178) * 6 + (["Recarga \\
 & Hidrica@1"] \geq 178) \text{ AND } (["Recarga Hidrica@1"] < 254) * 8 + (["Recarga Hidrica@1"] \geq 254) * 9
 \end{aligned}$$

Ecuación 13. Reclasificación de la Recarga Hídrica.
Fuente: Elaboración Propia.

A (acuífero) Litología del acuífero

Mediante los métodos de resistividad eléctrica (Tomografía Eléctrica) se determinó el tipo de sustrato rocoso de la zona saturada del acuífero, además se toma como base la información geológica de la primera unidad litológica (Mapa Geológico de la Subcuenca). Los rangos de resistividades para interpretar las características litológicas de la zona saturada, se detallan a continuación:

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento Roca Sana con Diaclasas espaciadas	>1000
Basamento. Roca Fracturada	15000-5000
Basamento. Rica Fracturada Saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca Fracturada Saturada con agua Salada	1-100
Gruss no Saturado	500-1000
Grus Saturado	40-50
Saprolito no Saturado	200-500
Saprolito Saturado	40-100
Gravas no Saturada	500-2000
Gravas Saturadas	300-500
Arenas no Saturadas	400-700
Arenas Saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos Saturados	20-100
Limos Saturados con Agua Salada	5-15
Arcillas no Saturadas	20-40
Arcillas Saturadas	5-20
Arcillas Saturadas con Agua Salada	1-10
Andosoles Secos	1000-2500
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles Saturados	30-50

Tabla 14. Rango de resistividad eléctrica y tipo de material geológico

Fuente: Arias et al., (2021).

Material	Resistividad (Ωm)
Suelo arcilloso de húmedo a húmedo y arcilla húmeda	1s to 10s
Suelo limoso húmedo a húmedo y arcilla limosa	Bajo 10s
Suelos limosos húmedos a húmedos y suelos arenosos	10s to 100s
Arena y grava con capas de limo	Bajo 1000
Depósitos de grava y arena seca gruesa	Alto 1000s
Roca bien fracturada a ligeramente fracturada con grietas húmedas llenas de suelo	100s

Material	Resistividad (Ωm)
Roca ligeramente fracturada con grietas húmedas llenas de tierra.	Bajo 1000s
Roca masivamente estratificada	Alto 1000s

Tabla 15. Rango de resistividad eléctrica y tipo de material geológico.

Fuente: Burger, (1992).

Se toma como base el mapa geológico, asignando a cada unidad litológica los valores de vulnerabilidad intrínseca según DRASTIC en el vector correspondiente, estos datos se especializaron en formato ráster para el modelo de vulnerabilidad de acuífero definidos en el presente estudio. Los pesos de ponderación utilizados se detallan a continuación:

A (Litología del Acuífero)

Litología del acuífero	Valoración Ar	Valor típico
Lutita masiva	1 -3	2
Metamórfica/Ígnea	2 -5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 -5	4
Till glacial	4 -6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	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

Tabla 16. Litología del Acuífero.

Fuente: Aller et al., (1987)

S (soil) Tipo de suelo

Para la determinar la vulnerabilidad según el tipo de suelos, se utiliza la información proporcionada por el Departamento de Cuencas Hidrográficas del SANAA, el cual realizo un mapeo según sus texturas siendo estos datos ráster, con las proporciones de arcillas, arenas y limos en la Subcuenca. Para clasificar el suelo según su textura se utilizó las proporciones recomendadas por la USDA United States Department of Agriculture por sus siglas en inglés (FAO, s.f.), cuyas clases se muestran a continuación:

Clase textura	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clasificación Ráster
Arenoso	86-100	0-14	0-10	1

Clase textura	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clasificación Ráster
Arenoso-Franco	70-86	0-30	0-15	2
Franco Arenoso	50-70	0-50	0-20	3
Franco	23-52	28-50	7-27	4
Franco Limoso	20-50	74-88	0-27	5
Limoso	0-20	88-100	0-12	6
Franco arcilloso arenoso	45-80	0-28	20-35	7
Franco Arcilloso	20-45	15-52	27-40	8
Franco arcilloso limoso	0-20	40-73	27-40	9
arcilla arenoso	45-65	0-20	35-55	10
arcilla limosa	0-20	40-60	40-60	11
Arcilloso	0-45	0-40	40-100	12

Tabla 17. Clases Texturales del Suelo,
Fuente: USDA, (s.f.).

Para la generación del mapa de suelo según su textura de la Subcuenca del Río Guacerique se utilizó SAGA GIS, mediante las herramientas de geoprocésamiento, clasificación de la textura del suelo, el cual es indispensable para el desarrollo de la presente variable. En esta herramienta se procesaron los ráster de arcillas, limos y arenas, para las clases texturales del suelo. Una vez obtenido mapa de suelo, se realiza una reclasificación de variables, se utiliza de la caja de herramienta de QGIS, la función *r.reclass*, con la cual cada clase textural se asigna un nuevo valor según el índice de vulnerabilidad especificado, donde los pesos de ponderación utilizados se detallan en la siguiente tabla:

S (Tipo de Suelo)

Tipo de suelo	Valoración Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Turba	8
Agregado arcilloso o compactado	7
Franco Arenoso	6
Franco	5
Franco Limoso	4

Tipo de suelo	Valoración Sr
Franco Arcilloso	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Tabla 18. Tipo de Suelo.
Fuente: Aller et al., (1987).

T (topography) Topografía:

Para poder de determinar el índice de vulnerabilidad según la topografía del terreno, se utiliza el modelo de elevación digital (DEM) proporcionado por el SANAA a través del Departamento de Cuenca Hidrográfica. Este mismo se elaboró con puntos de elevación con espaciamiento de cada 10 metros. Con este insumo se aplicó la herramienta ráster Slope de QGIS, ejecutando la función de pendientes en porcentajes. Una vez obtenido la pendiente del terreno se reclasifica, para plasmar el peso de ponderación según la metodología establecida (ver tabla 18), utilizando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & (["Pendiente@1">=0] \text{ AND } ["Pendiente"<2])*10 + (["Pendiente @1">=2] \text{ AND } ["Pendiente @1"<6])*9 + \\
 & (["Pendiente @1">=6] \text{ AND } ["Pendiente @1"<12])*5 + (["Pendiente @1">=12] \text{ AND } ["Pendiente \\
 & @1"<18])*3 + (["Pendiente @1">=18])*1
 \end{aligned}$$

Ecuación 14. Reclasificación del mapa de pendiente según índice de vulnerabilidad.
Fuente: Elaboración Propia.

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

Tabla 19. Topografía.
Fuente: Aller et al., (1987).

I (impact) Naturaleza de la zona no saturada - O (overall aquifer class):

La naturaleza de la zona no saturada en vulnerabilidad de acuíferos determina la capacidad de atenuación de sustancias contaminantes, hacia la zona saturada. En el presente estudio se utilizará el mapa geológico como nuestra primera unidad litológica, además de los datos de las actividades de prospección geofísica para obtener información relevante, sobre la característica intrínseca del

medio subterráneo, como ser el grado de consolidación del material y las posibles fracturas en el perfil geofísico.

En el mapa geológico a cada polígono se asigna el peso de ponderación (ver tabla 19), cuyo vector se transformó en un ráster para poder realizar el modelo de vulnerabilidad de acuífero implementado.

I (Naturaleza de la Zona No Saturada)

Naturaleza de la Zona No Saturada	Valoración Ar	Valor típico
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2 - 6	3
Lutita	2 - 5	3
Caliza	2 - 7	6
Arenisca	4 - 8	6
Secuencias 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

Tabla 20. Naturaleza de la Zona No Saturada.

Fuente: Aller et al., (1987).

C (hydraulic conductivity) Conductividad hidráulica del acuífero o permeabilidad:

Uno de los principales desafíos en la Subcuenca del Río Guacerique es la existencia de piezómetros en cada unidad geológica, y que los mismos solo son para la primera unidad hidroestratigráfica, necesario para determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos. Para poder definir la conductividad hidráulica en la Subcuenca del Río Guacerique, se utilizaron parámetros teóricos, de autores que trabajaron en regiones con características geológicas o hidrogeológicas similares (anexo 4).

En la definición de este parámetro, se discretizó el medio, tomando como punto de muestreo los pozos artesanales (malacate) donde se midió el nivel freático y los perfiles geofísico (tomografía eléctrica, potencial natural y sondeos eléctricos vertical) y los manantiales, cada uno se le especificó un valor teórico de conductividad hidráulica, tomando como base lo siguiente:

Geología	K (m/día)
Aluvión del Cuaternario	10
Aluvión del Cuaternario, con presencia de material arcilloso	1
Basalto, Andesita	0.864
Basalto, Andesita, con poca alteración	0.0864
Ceniza Volcánica	0.000864
Ignimbritas fracturadas	5
Ignimbritas con alteración significativa	1
Ignimbritas con poca alteración	0.1

Tabla 21. Valores teóricos de conductividad hidráulica propuestos.

Fuente: Elaboración Propia, tomado de Calderón y Garfias et al (2020), Custodio (2020), Custodio (1983).

Con los datos teóricos definidos, se interpoló los mismos utilizando el método Krigging para obtener el mapa de conductividad hidráulica de la Subcuenca del Río Guacerique. A cada valor de conductividad hidráulica se le asigna un peso de ponderación, el cual se detalla a continuación:

C (Conductividad Hidráulica)

Conductividad Hidráulica		Valoración CR
cm/día	m/día	
4,6x10 ⁻⁵ - 4,7x10 ⁻³	0.04-4.08	1
4,7x10 ⁻³ - 1,4x10 ⁻²	4.08-12.22	2
1,4x10 ⁻² - 3,4x10 ⁻²	12.22-28.55	3
3.4 x10 ⁻⁵ -4.7x10 ⁻²	28.55-40.75	6
4,7 x10 ⁻² -9,5x 10 ⁻²	40.75-81.49	8
> 9,5x10 ⁻²	> 81,49	10

Tabla 22. Conductividad Hidráulica.

Fuente: Aller et al., (1987).

Haciendo uso del ráster de conductividad hidráulica se reclasifica según los pesos de ponderación planteada, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & ((\text{"Conductividad Hidraulica@1"} \geq 0) \text{ AND } (\text{"Conductividad Hidraulica@1"} < 4.08)) * 1 + ((\text{"Conductividad Hidraulica@1"} \geq 4.08) \text{ AND } (\text{"Conductividad Hidraulica@1"} < 12.22)) * 2 + ((\text{"Conductividad Hidraulica@1"} \geq 12.22) \text{ AND } (\text{"Conductividad Hidraulica@1"} < 28.55)) * 3 + ((\text{"Conductividad Hidraulica@1"} \geq 28.55) \text{ AND } (\text{"Conductividad Hidráulica @1"} < 40.75)) * 6 + ((\text{"Conductividad Hidraulica@1"} \geq 40.75) \text{ AND } (\text{"Conductividad Hidraulica@1"} < 81.49)) * 8 + ((\text{"Conductividad Hidraulica@1"} \geq 81.49)) * 10
 \end{aligned}$$

Ecuación 15. Reclasificación de la Conductividad Hidráulica.

Fuente: Elaboración Propia.

GOD

Este método tiene una serie de pasos definidos, primero es el aspecto para tener en cuenta es el grado de confinamiento hidráulico (G) del acuífero que se encuentra en un rango de 0 a 1 siendo 0 como ninguno o surgente, y 1 como no confinado. Segundo estrato suprayacente (O), se refiere a las Características litológicas y el grado de consolidación de la zona no saturada o capa no confinantes donde sus valores esta entre 0.4 y 1. Y el tercero la profundidad del nivel freático que varía 0.6 a 1. Todo esto se detalla en el siguiente esquema:

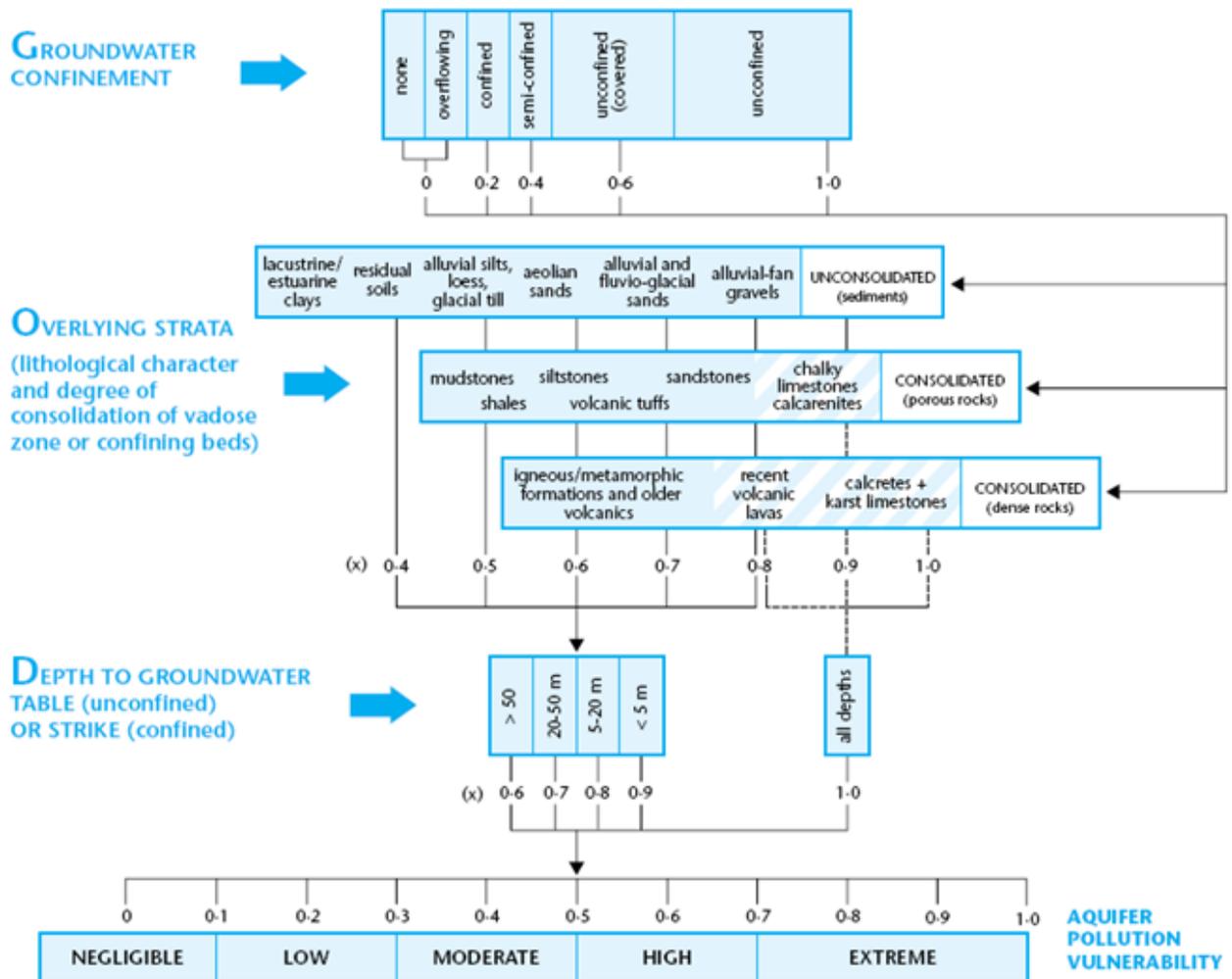


Ilustración 4. Método GOD valoración numérica.
Fuente: Foster et al, (2007), Gidahari (2013).

La obtención de cada una de las variables involucradas en GOD como ser el grado de confinamiento del acuífero, litología de la cobertura y profundidad de las aguas subterráneas se detallara en los siguientes apartados.

G (Ground Water Occurrence), Tipo de Acuífero o Grado de Confinamiento del Acuífero:

Al igual que la conductividad hidráulica se utilizó parámetros teóricos para determinar el coeficiente de almacenamiento de los acuíferos dentro de la subcuenca, este dato nos permite saber el tipo de confinamiento del medio saturado (libre, semiconfinado o confinado). Según Custodio y Llamas (1986) establece que; los rangos entre 0,05 a 0,30 es en condiciones libres y al caer en el campo de las milésimas a cienmilésimas se considera en condiciones artesianas o cautivas (10^{-3} a 10^{-5}). Además se consideró los siguientes parámetros teóricos:

Tipo de Acuífero	Grado de Confinamiento
Libres	0.3-0.01
Semiconfinados	10^{-3} - 10^{-4}
Confinados	10^{-4} - 10^{-5}

Tabla 23. Coeficiente de Almacenamiento.

Fuente: Sanchez (2022).

Estos valores teóricos se definieron en función del tipo material rocoso, el sustrato que está por encima de los acuíferos y el grado de consolidación del material, utilizando los siguientes parámetros teóricos:

Tipo de Roca	Tipo de acuífero	Grado de Confinamiento
Dacita	Confinado	5×10^{-5}
Basalto Fracturado	Confinado	1.4×10^{-4}
	Libre	$0.1-1 \times 10^{-2}$
Aluvial	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Roca fracturada	Libre	0.1

Tabla 24. Valores teóricos del coeficiente de almacenamiento, en función del tipo de material rocoso.

Fuente: Villanueva (1984), Singhal et al (2010), Poncela (2015), Custodio (2020).

Una vez definidos el parámetro hidráulico del acuífero se espacializaran en función de la primera unidad litológica, la consolidación del material y las isoclinas del grado de confinamiento, proponiendo de manera conceptual y teórica de una delimitación de los acuíferos en función de dicha interpretación, construyendo un vector de datos el cual posteriormente se ingresara los pesos de ponderación según GOD, y rasterizarlos para poder aplicarlo en el modelo de vulnerabilidad.

O (Overall Aquifer Class) Litología de la Cobertura

La litología del estrato que está por encima del acuífero, se utilizó la primera unidad litológica descrita en el mapa geológico de la Subcuenca, además se analizó su grado de consolidación mediante las lecturas de tomografía eléctrica levantadas en campo y la data base recolectada.

En cada unidad litológica se agregó el peso de ponderación según GOD, el cual se rasterizara para poder realizar el análisis correspondiente.

D (Depth to Ground Water) Profundidad del Agua Subterránea

Por medio de los datos recabados en campo, mediante la medición de la profundidad del agua subterránea en los pozos malacates y manantiales, la interpretación de las imágenes de tomografía eléctrica y la información bibliográfica recopilada, se definió el mapa de profundidad del nivel freático en la Subcuenca del Río Guacerique. Este ráster se reclasifico según el peso de ponderación, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$(("Nivel\ Freatico@1" \ge 0) \text{ AND } ("Nivel\ Freatico@1" < 5))*0.9 + (("Nivel\ Freatico@1" \ge 5) \text{ AND } ("Nivel\ Freatico@1" < 20))*0.8 + (("Nivel\ Freatico@1" \ge 20) \text{ AND } ("Nivel\ Freatico@1" < 50))*0.7 + ("Nivel\ Freatico_Final@1" \ge 50)*0.6$$

Ecuación 16. Reclasificación de la Profundidad del Nivel Freático según GOD.

Fuente: Elaboración Propia.

Espacialización de nitratos, nitritos y amonios

Los resultados de nitratos, nitritos y amonio del muestreo de los pozos, manantiales y cuerpos de aguas se especializaron y planteando su ubicación, con el objetivo de poder comparar las concentraciones de estos iones y la vulnerabilidad específica e intrínseca del acuífero, tanto para DRASTIC y GOD.

Desarrollo de los modelos de vulnerabilidad de acuíferos

DRASTIC ha sido diseñada para plaguicidas, pero también existe factores de ponderación para no plaguicida como se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de Contaminante	Variables						
	Dw	Rw	Aw	Sw	Tw	Iw	Cw
Plaguicidas	5	4	3	5	3	4	2
No Plaguicidas	5	4	3	2	1	5	3

Tabla 25. Peso de Ponderación para Plaguicidas y No Plaguicidas.

Fuente: Aller et al., (1987).

Posteriormente para cada una de las variables antes mencionada se aplica la siguiente ecuación, con el objetivo de obtener el índice de vulnerabilidad específico:

$$DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw = \text{Índice de vulnerabilidad}$$

Ecuación 17. Índice de Vulnerabilidad de Acuífero según DRASTIC.

Fuente: Aller et al., (1987).

Una vez determinados el índice de vulnerabilidad esta se distribuye en rango en función de los valores y pesos determinado de cada una de las variables y factores de medición como se muestra en la siguiente tabla:

Vulnerabilidad General		Vulnerabilidad Específica	
Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC	Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC
Muy bajo	23-64	Muy bajo	26-73
Bajo	65-105	Bajo	74-120
Moderado	106-146	Moderado	121-167
Alto	147-187	Alto	168-214
Muy alto	188-230	Muy alto	215-260

*Tabla 26. Rango de vulnerabilidad.
Fuente: Aller et al., (1987).*

En GOD es el producto de cada uno de sus acrónimos, distribuyendo la vulnerabilidad a la contaminación en rangos, tal como se detalla en la ilustración 4. Se utilizó el álgebra de mapa para la aplicación de las formulas establecidas para cada metodología (DRASTIC y GOD), así como los pesos de ponderación, con esto se obtendrá los mapas de vulnerabilidad de acuíferos preliminares.

Comparación de los modelos de vulnerabilidad de acuíferos

Se realizara una comparación entre los resultados de DRASTIC y GOD para concluir cuales son aquellas zonas que están más expuesta a la contaminación desde la superficie y recomendar aquellas acciones que ayuden a la protección y conservación del recursos hídrico subterráneo.

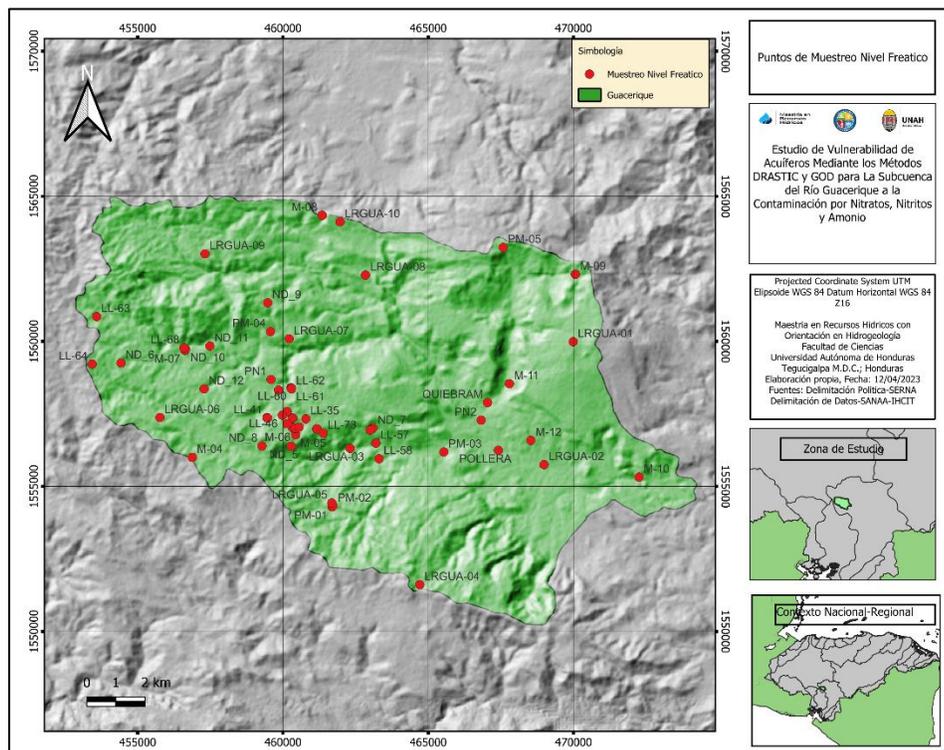
También se relacionaran la vulnerabilidad del medio y los resultados de compuestos nitrogenados, para concluir cual formación hidrogeológica tiene un potencial riesgo de contaminación, además de describir cuáles de estos nutrientes representa una mayor amenaza a las aguas subterráneas.

6. CAPITULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1 Caracterización de las propiedades intrínsecas del terreno involucradas en el DRASTIC y GOD

A. Depth (D)

Se midió el nivel freático de 5 pozos artesanales (PM), ubicados en diferentes lugares en la zona de estudio, PM-01, PM-02 y PM-05, la geología del medio es ignimbritas con profundidades de 4.8, 3.11 y 3.52 metros en el nivel freático. En PM-03 es rocas sedimentarias (material aluvial) con un nivel freático de 7.8 metros y PM-04 es en roca basáltica-andesítica con una profundidad de 0.36 metros. También se realizaron 10 levantamientos geofísicos mediante el método de tomografía eléctrica, además se incluyeron los 12 manantiales levantados en campo, asignándoles un valor de 0.5 metros de profundidad del nivel freático. Mediante la recopilación de la información de la base de datos del IHCIT, se obtuvo 2 levantamientos geofísicos por medio del método de Potencial Natural (PN) y 37 manantiales. En PN-1 el nivel freático está a una profundidad de 5 metros y PN-2 a 30 metros, ambos ubicados en rocas sedimentarias (Aluvial). A los manantiales facilitados por el IHCIT se les asigno el mismo valor de 0.5 metros. Los levantamientos realizados mediante el método de Sondeos Eléctricos Vertical (SEV) (Rojas, 2019), según los niveles de resistividades indican que el nivel freático para el sitio denominado Pollera es de 30 metros y Quebramontes 19 metros. En total se obtuvieron 68 puntos de muestreos, obteniendo los siguientes valores de profundidades de la zona saturada:



No	Código	X	Y	Lugar	Descripción	Nivel Freático (m)
1	PM-01	461690	1554293	Calera	Pozo malacate ubicado en Ignimbritas, con un nivel estático de 4.8 metros.	4.8
2	PM-02	461728	1554327	Calera	Pozo malacate ubicado en Ignimbritas, con un nivel estático de 3.11 metros	3.11
3	PM-03	465538	1556186	Mateo	Pozo malacate ubicado en material aluvial, con un nivel estático de 7.8 metros.	7.8
4	PM-04	459571	1560341	Quiscamote	Pozo malacate perforado en material basáltico-andesítica, con un nivel estático de 0.36	0.36
5	PM-05	467582	1563240	Santa Cruz Arriba	Pozo malacate ubicado en Ignimbritas, con un nivel estático de 3.52 metros.	3.52
6	LRGUA-01	469993	1559987	Laguna del Pedregal	Presencia de rocas fracturadas en material basáltico y andesítica, el cual muestra depósitos de agua entre las fracturas, con rangos de resistividades entre 1 a 50 ohm-m, y los 90-100 ohm-m. El nivel freático determinado para este perfil esta entre 5-10 metros de profundidad (Anexo 5).	5
7	LRGUA-02	467755	1555707	Ciudad Mateo	Material rocoso poco consolidado, compuesto por roca sedimentaria (material aluvial), ya que sus proximidades está el Río Guacerique presentando rangos bajos de resistividades, que varían entre 1 a 50 ohm-m, además, existen segmento con resistividades altas 90 a 300 ohm-m. El nivel freático está a 15 metros de profundidad (Anexo 5).	15
8	LRGUA-03	462314	1556312	Tres Pasos	El material rocoso está compuesto por ignimbritas altamente fracturadas con saturación de agua, con resistividad de 1 a 20 Ohm-m, y un segmento con valores entre 300-900 ohm-m. El nivel freático determinado para este perfil geofísico es de 2 metros (Anexo 5).	2
9	LRGUA-04	464713	1551614	Upare	Roca volcánica altamente consolidada con niveles altos de resistividades mayores a los 300 Ohm-m. Existe algunos segmentos de roca con bajos niveles de resistividades, con valores de 20 Ohm-m, lo cual puede ser fracturas o la presencia de otro tipo de material rocoso. La geología es basáltica-andesítica, pocamente fracturado, con un nivel freático mayor a los 30 metros (Anexo 5).	30
10	LRGUA-05	461683	1554429	La Calera	En una parte del perfil presenta bajo niveles de resistividades con valores entre 1-10 Ohm-m, interpretándose como rocas fracturadas con saturación de agua. En contraste con una sección del perfil con resistividades en rangos de 100-1000 Ohm-m, siendo esto rocas consolidadas sin la presencia de fracturas o con algún nivel de saturación de agua. La geología de la sección es ignimbritas con fracturas, con un nivel freático a una profundidad de 3 metros (Anexo 5).	3
11	LRGUA-06	455764	1557376	Tierra Colorada	En la mayor parte del perfil las resistividades son altas mayores a los 300 Ohm-m, esto indica la existencia de material consolidado sin la presencia significativa de fracturas o algún nivel de saturación en las rocas. El material geológico de la sección transversal es toba volcánica sin fracturas. Además, a partir de los 25 metros de profundidad los niveles de resistividades son bajo (50-90 Ohm-m), sin embargo, no se puede determinar si los valores encontrados, se deben a la presencia de agua en las rocas o fracturas en el material, por lo cual se asume que el nivel freático está a más de 30 metros (Anexo 5).	30
12	LRGUA-07	460214	1560090	Quiscamote	En los primero 10 metros de profundidad se encontró resistividades mínimas de 10 Ohm-m a 20 Ohm-m, esto se debe a la presencia de arcillas entre el material rocoso. Después de los 10 metros, los niveles de resistividad cambian en ambos lados de la sección, con niveles de 300 Ohm-m. Además, en la parte central del perfil las resistividades son de 50 Ohm-m, lo que representa la presencia de fracturas con cierto nivel de saturación en la roca. El material geológico del perfil geofísico es basalto-andesita, con meteorización en los primeros 10 metros de profundidad, la presencia de material consolidado y fracturas con cierta saturación en las rocas. En esta sección transversal, no se puede determinar la zona saturada, por lo cual se asume que, el nivel freático está a una profundidad mayor a los 30 metros (Anexo 5).	30

No	Código	X	Y	Lugar	Descripción	Nivel Freático (m)
13	LRGUA-08	462843	1562284	El Llano	En los primeros 5 metros de profundidad la resistividad es de 50 Ohm-m a 90 Ohm-m, la presencia de material poco consolidado, debido a la meteorización de la roca. A partir de los 5 metros de profundidad, los niveles de resistividades son mayores, con valores que oscilan entre 90 Ohm-m a los 1000 Ohm-m, en ambos lados de la imagen. Además, se puede observar, en la parte central del perfil geofísico, fracturas que comunican la superficie, el material intermedio (zona no saturada) y la zona saturada. El material geológico de este perfil es ignimbritas con fracturas. Los niveles de resistividades, que representa saturación de agua en las rocas, se observan a partir de los 12 metros, por lo cual asumimos esta profundidad como el nivel freático de esta sección transversal (Anexo 5).	12
14	LRGUA-09	457318	1563017	Rincón de Dolores	La mayor parte de la imagen, las resistividades son mayores a los 300 Ohm-m, esto indica que el material del medio es bien consolidado, sin la presencia de fracturas o saturación en las rocas. El material geológico de la sección transversal es toba volcánica sin fracturas. Una parte del perfil geofísico, a los 10 metros profundidad se observa resistividad entre 90-50 Ohm-m, lo cual es la presencia de otro tipo de material geológico menos consolidado (ignimbritas). El nivel freático para este perfil geofísico no se pudo determinar, para lo cual se asume que el mismo, está a una profundidad mayor a los 30 metros (Anexo 5).	30
15	LRGUA-10	461970	1564120	Macuelizo	En los primeros 15 metros de profundidad, los datos de resistividad varían, debido a los diferentes niveles de consolidación del material, con valores de 10 Ohm-m, 20 Ohm-m y 300 Ohm-m (lo cual puede ser arcilla o rocas con saturación de agua). En profundidades mayores a los 15 metros, la resistividad es de 90 Ohm-m, manteniéndose consistentemente en la sección transversal del terreno. La geología del lugar es andesita-basalto sin fracturas, con cierto nivel de meteorización del material. El nivel freático para este perfil geofísico no se pudo determinar, para lo cual se asume que el mismo, está a una profundidad mayor a los 30 metros (Anexo 5).	30
16	PN1	459590	1558685	Mateo	La litología del levantamiento son Ignimbritas, con un nivel freático a 5 metros.	5
17	PN2	466823	1557285	Mateo	Material aluvial con un nivel freático a 30 metros de profundidad.	30
18	QUIEBRAM	467043	1557891	Mateo	Material aluvial con un nivel freático a 19 metros de profundidad.	19
19	POLLERA	467416	1556245	Mateo	Material aluvial con un nivel freático a 30 metros de profundidad.	30
20	M-01	463043	1556982	Platanal	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
21	M-02	461162	1556982	Empedrados Las Pilas	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
22	M-03	460315	1557353	Las Rosas	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
23	M-04	456883	1556001	Guajire	Manantial ubicado en rocas volcánicas (tobas).	0.50
24	M-05	460440	1556780	Potocolo	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
25	M-06	460418	1556990	Potocolo	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
26	M-07	456627	1559688	Encinos	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
27	M-08	461351	1564346	Balastrea	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
28	M-09	470068	1562311	Santa Cruz Arriba	Manantial ubicado en rocas volcánicas (basalto-andesita).	0.50

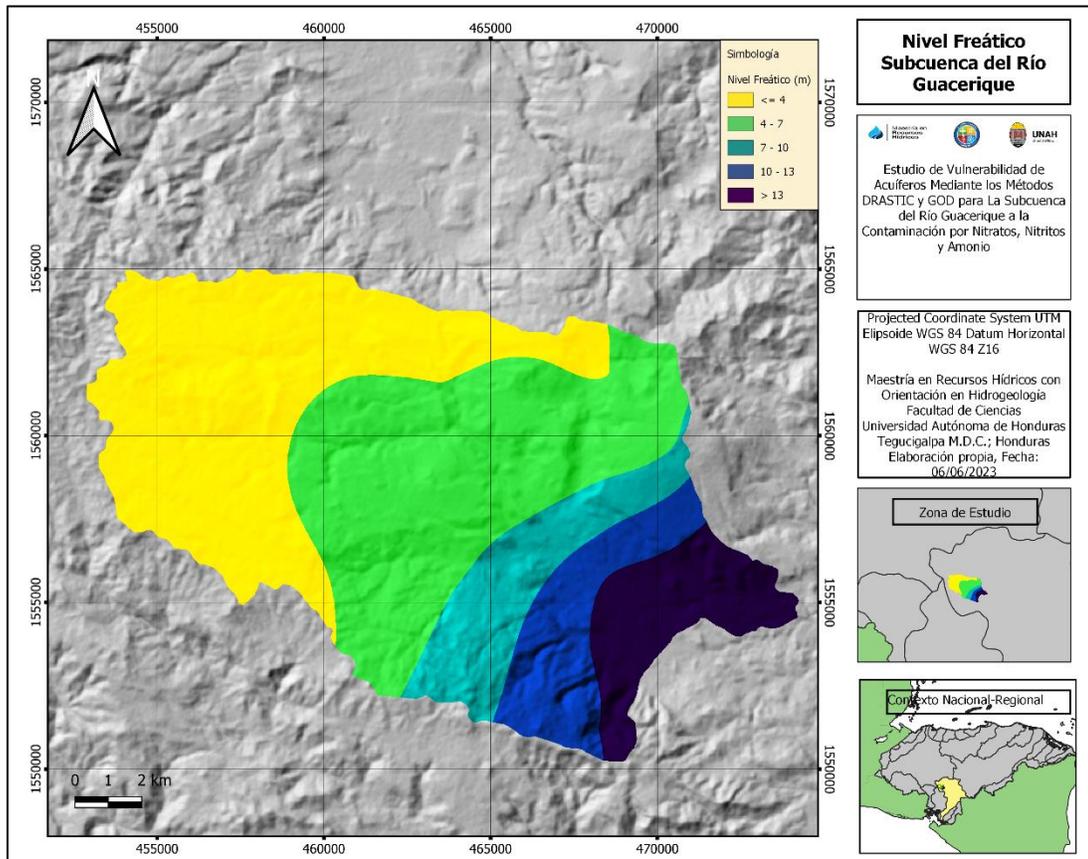
No	Código	X	Y	Lugar	Descripción	Nivel Freático (m)
29	M-10	472258	1555322	Tapias	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas.	0.50
30	M-11	467797	1558541	Jocomico	Manantial ubicado en rocas volcánicas (basalto-andesita).	0.50
31	M-12	468535	1556586	Quebrada Pinto	Manantial ubicado en rocas volcánicas (basalto-andesita).	0.50
32	ND_1	460339	1557353	El Ciprés	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
33	ND_2	460323	1557028	Palo Marcado	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
34	ND_3	460433	1556997	Ocote Hueco	Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
35	ND_4	461174	1556985		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
36	ND_5	460284	1556384		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
37	ND_6	454426	1559254		Manantial ubicado en rocas volcánicas (tobas).	0.50
38	ND_7	463100	1557013		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
39	ND_8	459280	1556392		Manantial ubicado en rocas volcánicas (tobas).	0.50
40	ND_9	459477	1561330		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
41	ND_10	456652	1559737		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
42	ND_11	457486	1559840		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
43	ND_12	457289	1558363		Manantial ubicado en rocas volcánicas (tobas).	0.50
44	ND_13	452740	1560573			0.50
45	LL-35	460791	1557329		Manantial ubicado en rocas volcánicas (basalto-andesita).	0.50
46	LL-38	460331	1557347		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
47	LL-39	460320	1557353		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
48	LL-40	460147	1557577		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
49	LL-28B	460140	1557586		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
50	LL-41	459449	1557366		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
51	LL-42	459457	1557374		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
52	LL-43	459477	1557358		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
53	LL-46	459978	1557454		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
54	LL-50	460141	1557164		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
55	LL-51	460421	1557004		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
56	LL-55	463040	1556968		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
57	LL-56	463001	1556941		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50

No	Código	X	Y	Lugar	Descripción	Nivel Freático (m)
58	LL-57	463200	1556490		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
59	LL-58	463308	1555954		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
60	LL-60	460278	1558402		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
61	LL-61	460293	1558388		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
62	LL-62	460292	1558365		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
63	LL-59	459850	1558321		Manantial ubicado en rocas volcánicas (basalto-andesita).	0.50
64	LL-63	453591	1560854		Manantial ubicado en rocas volcánicas (tobas).	0.50
65	LL-68	456594	1559777		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
66	LL-64	453434	1559217		Manantial ubicado en rocas volcánicas (tobas).	0.50
67	LL-72	460558	1557048		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50
68	LL-73	461385	1556838		Manantial ubicado en ignimbritas fracturadas	0.50

Tabla 27. Nivel Freático de los puntos de muestreo. PM: Pozo Malacate, LRGUA: Tomografía Eléctrica, PN: Potencial Natural; Quiebramontes y Pollera (SEV), M: Manantial; LL y ND: Manantial Inventario IHCIT

Fuente: Elaboración Propia, datos de los Sondeos Eléctrico Vertical (SEV) tomado de Rojas (2019).

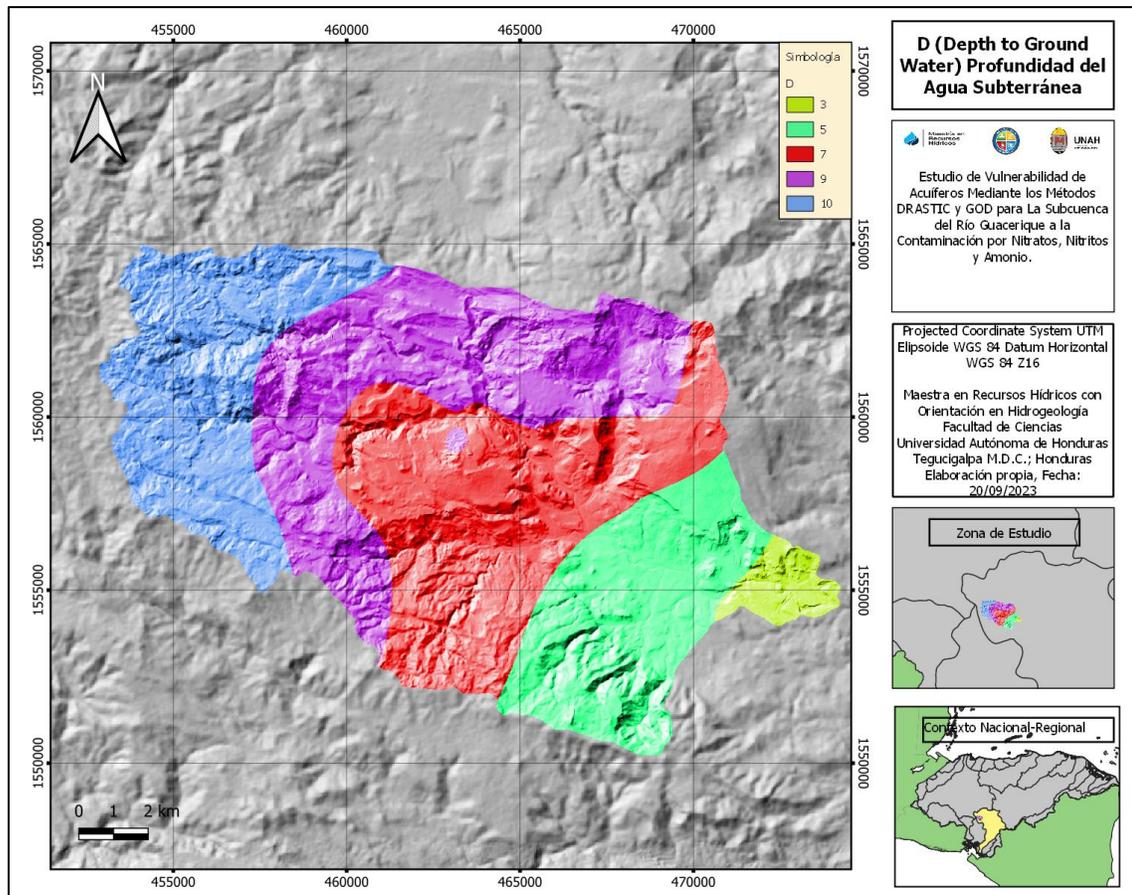
A partir de las profundidades estimadas en los puntos de muestreo mediante el método de interpolación (Krigging) se generó el mapa del nivel freático de la Subcuenca del Río Guacerique, obteniendo el siguiente resultado:



Mapa 11. Nivel Freático Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: Elaboración Propia

El nivel freático en la subcuenca oscila entre 1 y 16 metros de profundidad con un valor medio de 5 metros. Los niveles más someros se ubican en la parte media y alta de la subcuenca, en comparación de la parte baja con valores mayores a los 10 metros.

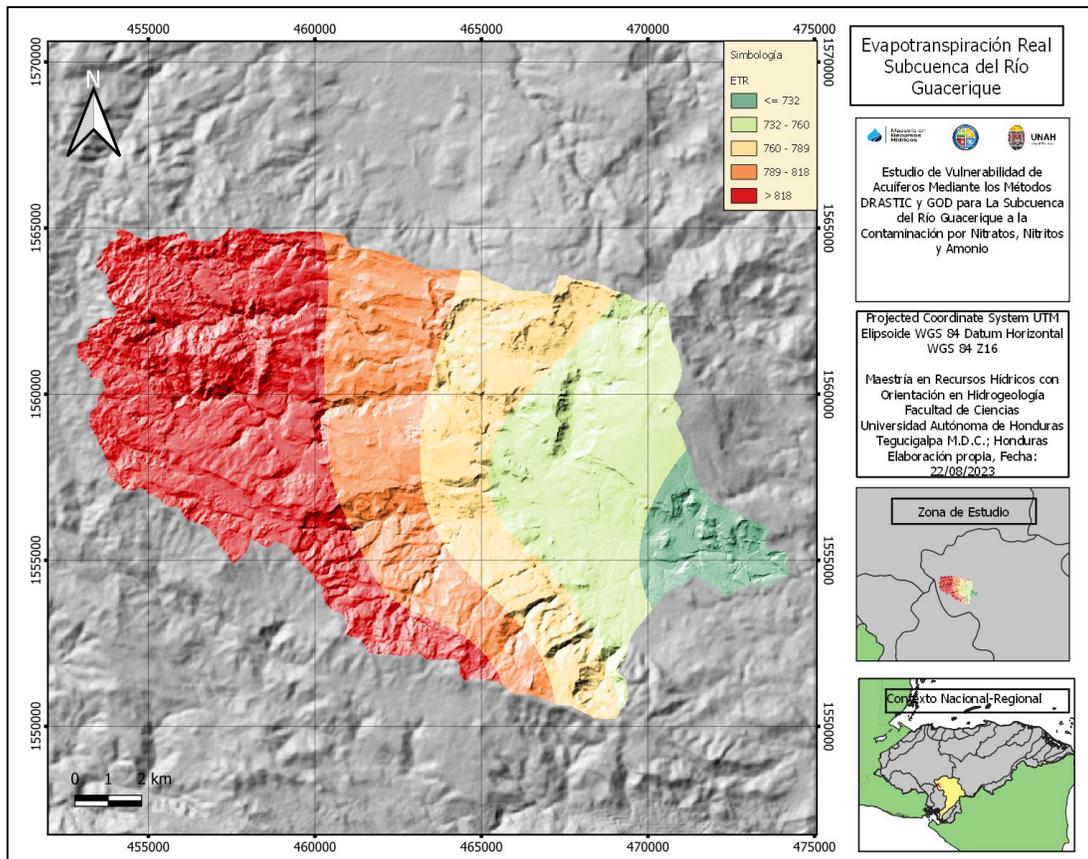
El nivel freático planteado se asigna los valores y peso de ponderación según DRASTIC, dando como resultado la siguiente variable:



Mapa 12. D (Depth to Ground Water) Profundidad del Agua Subterránea.
Fuente: Elaboración Propia

B. Recarga Hídrica Neta (R)

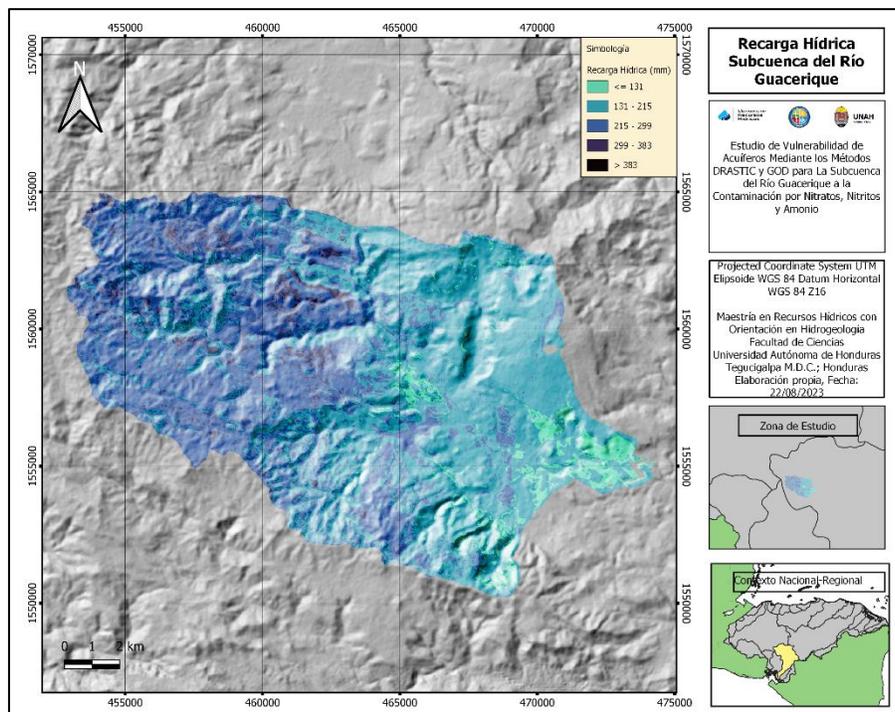
En la obtención de la recarga hídrica se involucra cuatro variables, la evapotranspiración real, precipitación, balance climático y el coeficiente de infiltración. Para la estimación de la ETR se utilizó la ETP, mediante la fórmula matemática adimensional de Budyko (1974), facilitando la obtención del siguiente resultado:



Mapa 13. Evapotranspiración Real.
Fuente: Elaboración Propia

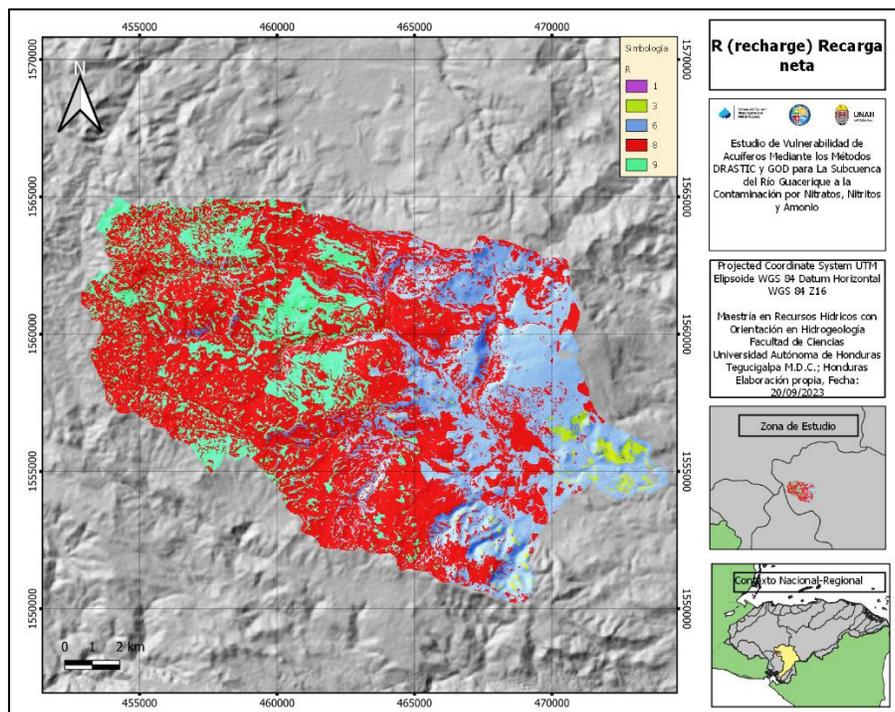
La evapotranspiración real de la Subcuenca oscila entre 703.21 mm y 846.19 mm con un valor medio de 790.41 mm. Una vez obtenida la ETR, se realiza una resta a la precipitación teniendo como resultado el balance climático de la Subcuenca (anexo 12).

Para poder calcular la recarga hídrica, es necesario obtener el coeficiente de infiltración, para esto se estimó los tres factores K_v , K_p y K_{fc} , teniendo como resultado esta variable (anexo 13). Una vez estimado el balance climático y el coeficiente de infiltración, se multiplican para la obtención de la recarga hídrica o hidrogeológica de la subcuenca, como se muestra a continuación:



Mapa 14. Recarga Hídrica de la Subcuenca.
Fuente: Elaboración Propia

La recarga hídrica en la subcuenca oscila entre 46.90 mm y los 466.64 mm con un valor medio de 208 mm. A la recarga neta del acuífero, se le asigna los pesos de ponderación según DRASTIC, dando como resultado el siguiente mapa:



Mapa 15. R (recharge) Recarga neta del Acuífero.
Fuente: Elaboración Propia

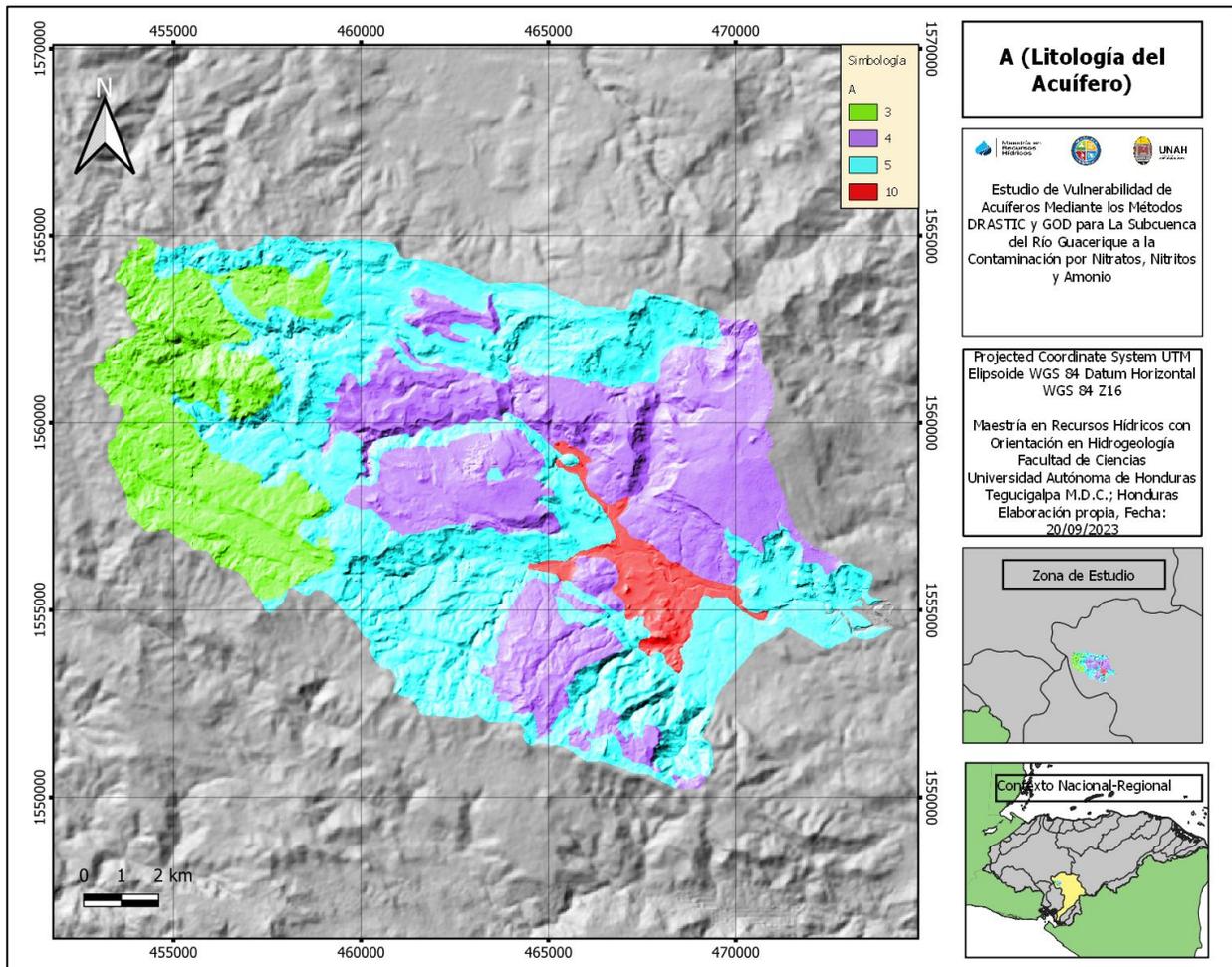
C. Litología del Acuífero (A)

Debido a la falta de datos se utilizó como la litología del acuífero, el mapa geológico de la Subcuenca del Río Guacerique, en el cual se asignó los pesos de ponderación según DRASTIC, tomando como base las características geológicas de la primera unidad litológica, así como el grado de consolidación del material, porosidad y grado de fracturación, obteniendo el siguiente resultado:

No	Unidad Geológica	Litología del Acuífero Según DRASTIC	Valoración Ar	Observaciones
1	Aluvial cuaternario	Arena o grava	10	Material aluvial proveniente del Río Guacerique.
2	Basalto, Andesita	Metamórfica/Ígnea meteorizada	4	Roca volcánica con algún grado de fracturación del material
3	Cenizas Volcánicas	Metamórfica/Ígnea	2	Roca volcánica altamente consolidada.
4	Ignimbritas	Metamórfica/Ígnea meteorizada	5	Roca volcánica con fracturación del material que va de moderado a alto.

Tabla 28. Litología del Acuífero según DRASTIC.

Fuente: Elaboración Propia

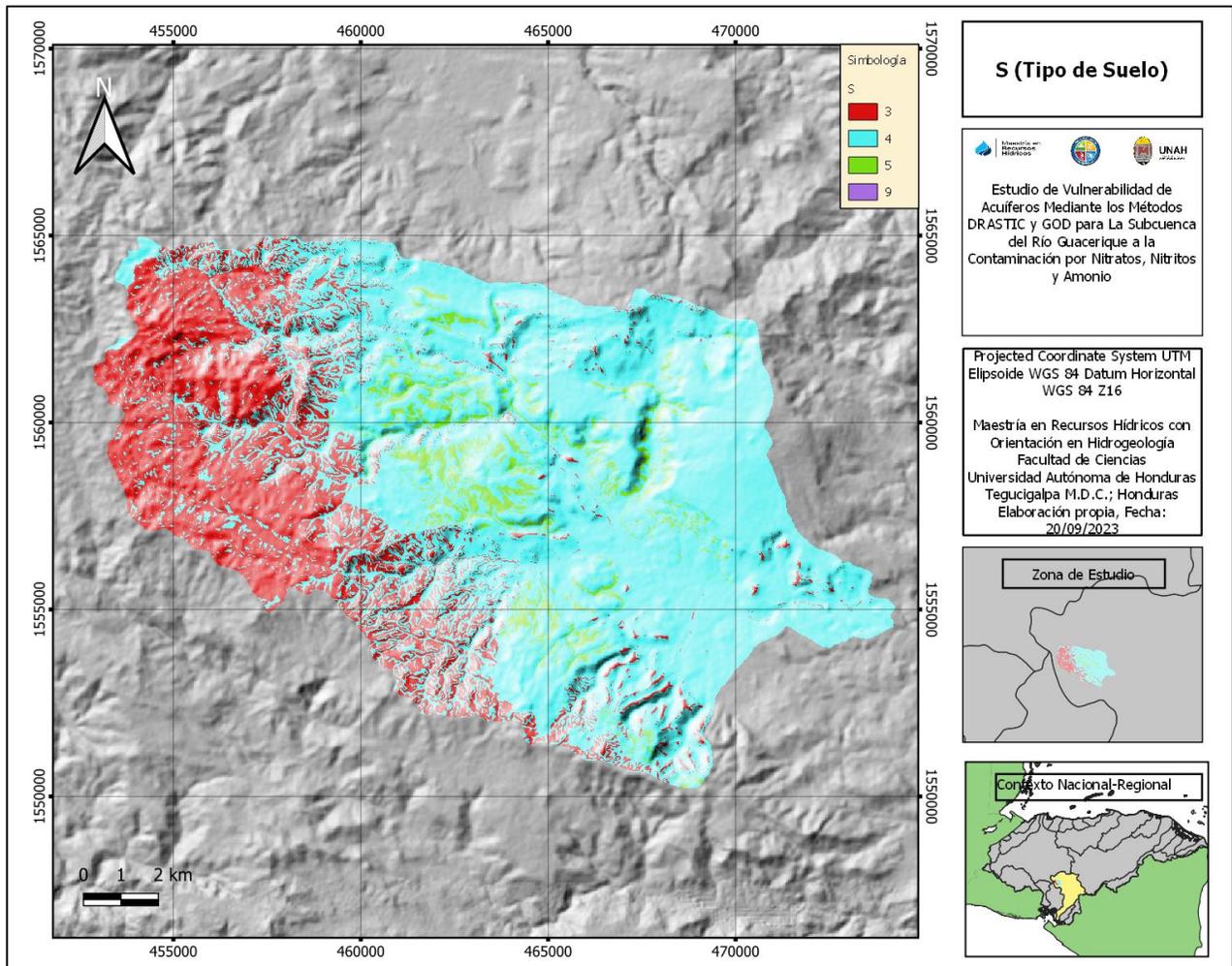


Mapa 16. Litología del Acuífero (A)

Fuente: Elaboración Propia

D. Tipo de Suelo (S)

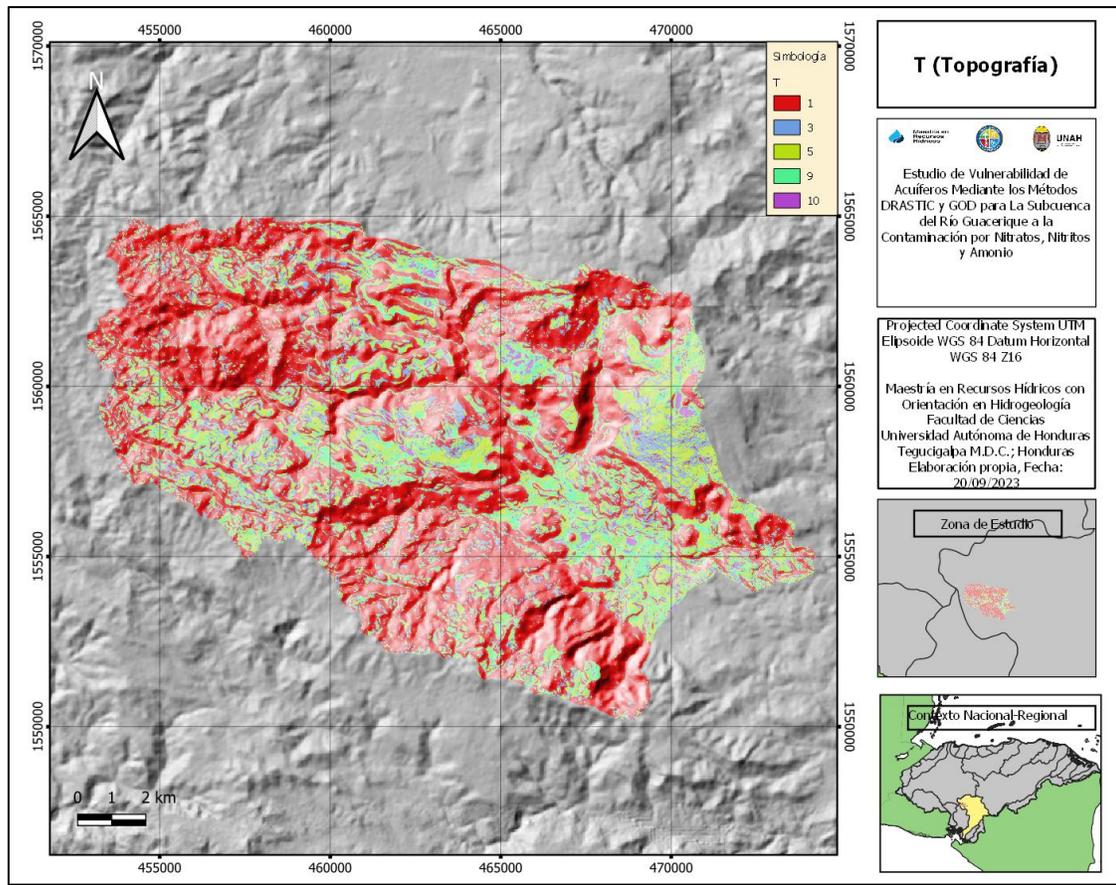
Para la determinación de esta variable se tomó como base las 6 clases texturales de suelo existente en la subcuenca (ver mapa 7. Clases Texturales de Suelos Subcuenca del Río Guacerique), según la clasificación de la USDA. A cada clase textural se le asignó los pesos de ponderación según DRASTIC dando como resultado lo siguiente:



Mapa 17. Tipo de Suelo (S).
Fuente: Elaboración Propia

E. Topografía (T)

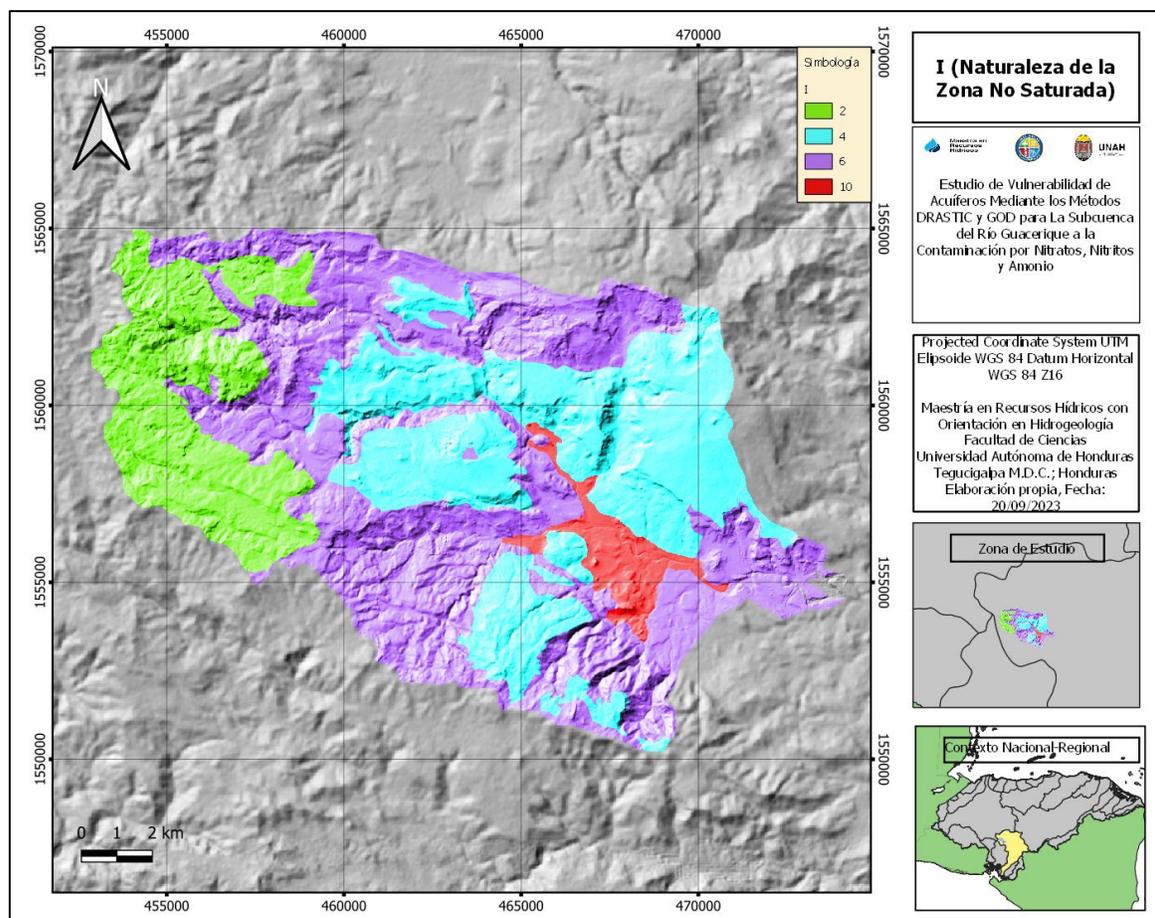
Por medio del DEM de la subcuenca se generó el mapa de pendiente en porcentajes, el cual se asignó el peso de ponderación según DRASTIC, dando como resultado la siguiente variable:



Mapa 18. Topografía (T).
Fuente: Elaboración Propia.

F. Naturaleza de la Zona No Saturada (I)

En la definición de la zona no saturada se utilizó como base el mapa geológico de la subcuenca. Para la asignación de los pesos de ponderación según DRASTIC se apoyó en los levantamientos geofísicos realizados para conocer la consolidación del material, el grado de fracturación de las rocas entre otros aspectos. Esto facilitó asignación de los valores para cada unidad litológica, permitiendo la construcción de la siguiente variable:



Mapa 19.1 (Naturaleza de la Zona No Saturada).
Fuente: Elaboración Propia.

G. Conductividad Hidráulica (C)

En la definición de este parámetro hidráulico se utilizó valores teóricos, debido a la falta de piezómetros que se ubiquen en la primera unidad hidroestratigráfica, ya que el análisis de vulnerabilidad, se realiza a los acuíferos más someros. En cada punto de muestreo se plasmó los valores teóricos de conductividad hidráulica como se detalla en la siguiente tabla:

Código	X	Y	Geología	Consolidación del Material	K (m/día)	Valor teórico
PM-01	461690	1554293	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	5	Calderón y Garfias et al., (2020), Custodio (2020)
PM-02	461728	1554327	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	5	Calderón y Garfias et al., (2020), Custodio (2020)
PM-03	465538	1556186	Aluvión del Cuaternario	Arenas, gravas y canto rodado.	10	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)
PM-04	459571	1560341	Basalto, Andesita	Roca Volcánica alterada	0.864	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)

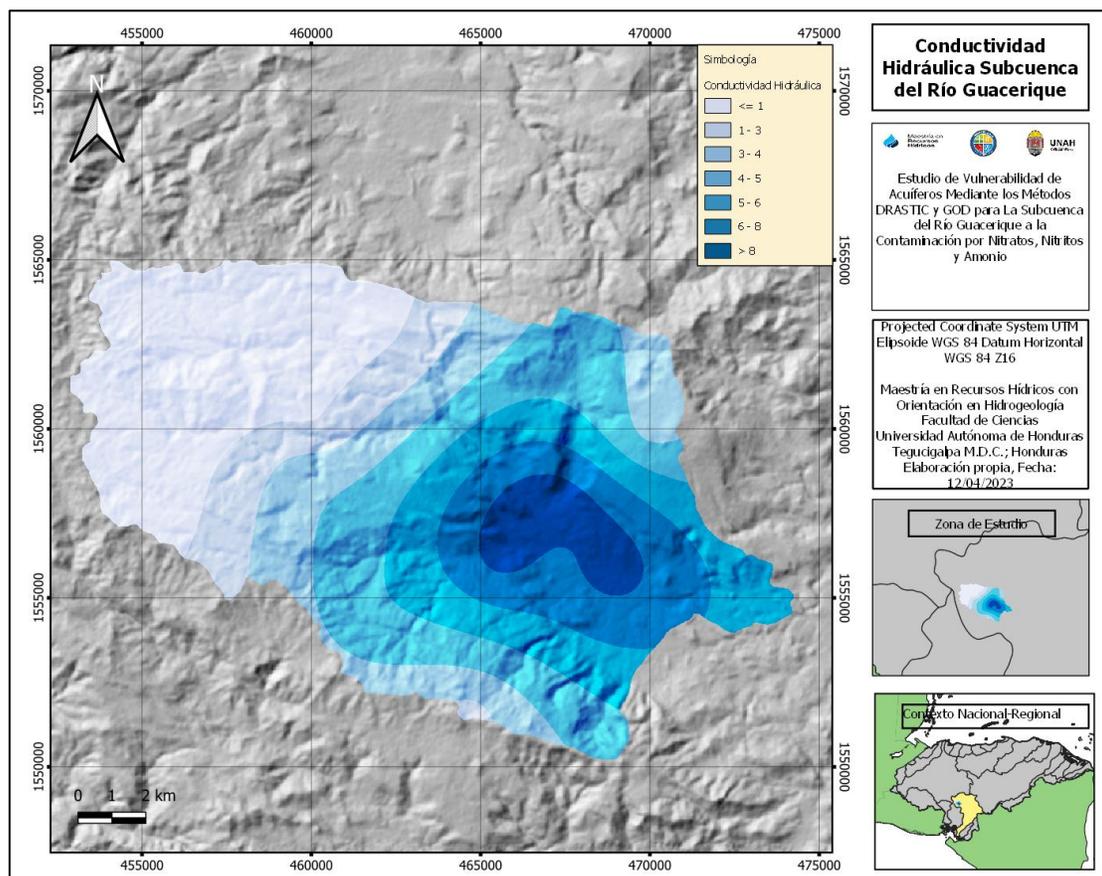
Código	X	Y	Geología	Consolidación del Material	K (m/día)	Valor teórico
PM-05	467582	1563240	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	5	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-01	469993	1559987	Basalto, Andesita	Roca Volcánica alterada	0.864	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-02	468989	1555750	Aluvión del Cuaternario	Medio Poroso (arena, grava)	10	Custodio y Llamas, (1986)
LRGUA-03	462314	1556312	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	5	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-04	464713	1551614	Basalto, Andesita	Roca Volcánica alterada	0.0864	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-05	461683	1554429	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	5	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-06	455764	1557376	Ceniza Volcánica	Material altamente consolidado	0.000864	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-07	460214	1560090	Basalto, Andesita	Roca Volcánica alterada	0.0864	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-08	462843	1562284	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	1	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-09	457318	1563017	Ceniza Volcánica	Material altamente consolidado	0.00864	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-10	461970	1564120	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	0.1	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
PN1	459590	1558685	Ignimbritas	Alterado, múltiples fracturas	5	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
PN2	466823	1557285	Aluvión del Cuaternario	Medio Poroso (Capa confinante, arcillas)	10	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)
QUIEBRAM	467043	1557891	Aluvión del Cuaternario	Arenas, gravas y canto rodado.	10	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)
POLLERA	467416	1556245	Aluvión del Cuaternario	Arenas, gravas y arcillas	1	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)

Tabla 29. Valores teóricos de conductividad hidráulica para cada punto de muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.

Los puntos de muestreo ubicados en rocas porosas (Aluvión del cuaternario) son los que tiene mayor conductividad hidráulica, con valores teóricos de 10 m/día, seguido ignimbritas fracturadas con 5 m/día. En el caso del basalto-andesita cuenta con un punto de muestreo con un valor de 0.864 m/día debido a la alteración de la roca, a las restantes se les asigno una conductividad hidráulica de 0.0864 m/día. En la ceniza volcánica se le definió un valor de 0.00864 m/día ya que el material

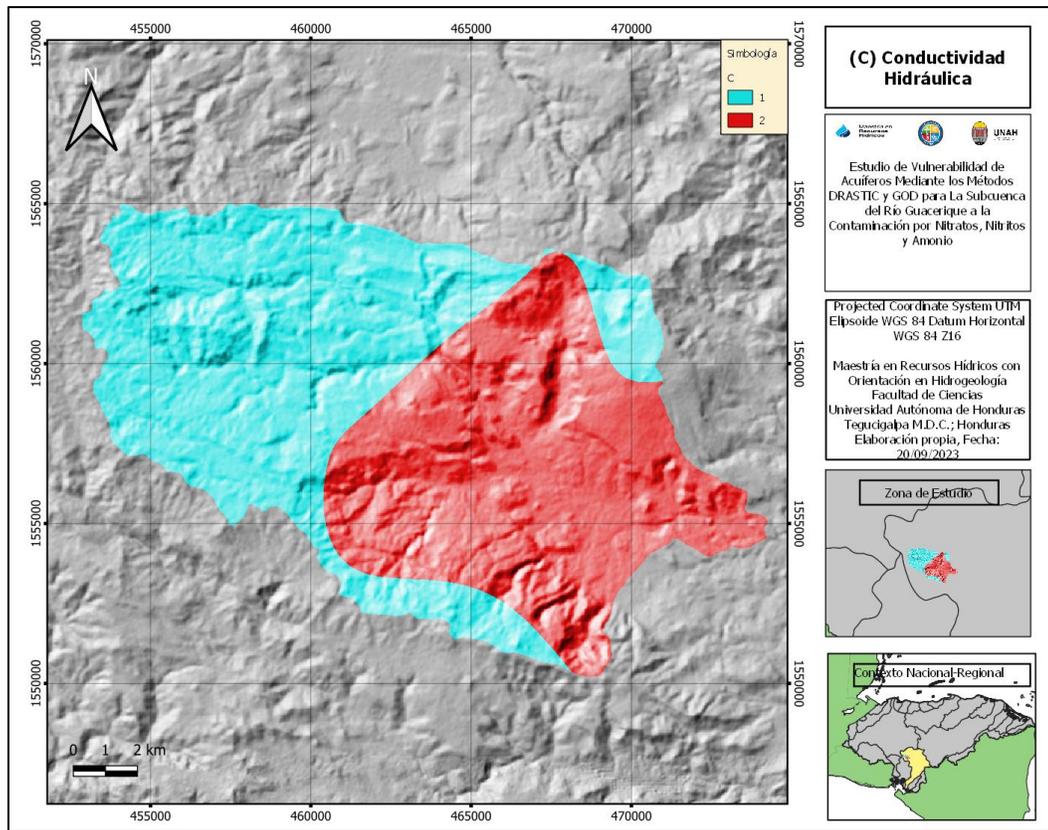
presentaba poca alteración y su porosidad primaria es baja. Los valores teóricos de conductividad hidráulica se especializaron dando como resultado lo siguiente:



Mapa 20. Conductividad Hidráulica, elaborado con parámetros teóricos.
Fuente: Elaboración Propia.

La Subcuenca del Río Guacerique presenta conductividades hidráulica que van del 0.0022 a 9.96 m/día con un valor medio de 3.84 mm/día. La parte baja de la Subcuenca presenta mayores valores de conductividad hidráulica en comparación con la parte alta, debido a la presencia depósitos aluviales en la cercanía del Río Guacerique.

Estos valores teóricos de conductividad hidráulica se les asignaron los pesos de ponderación según DRASTIC, obteniendo el siguiente resultado:

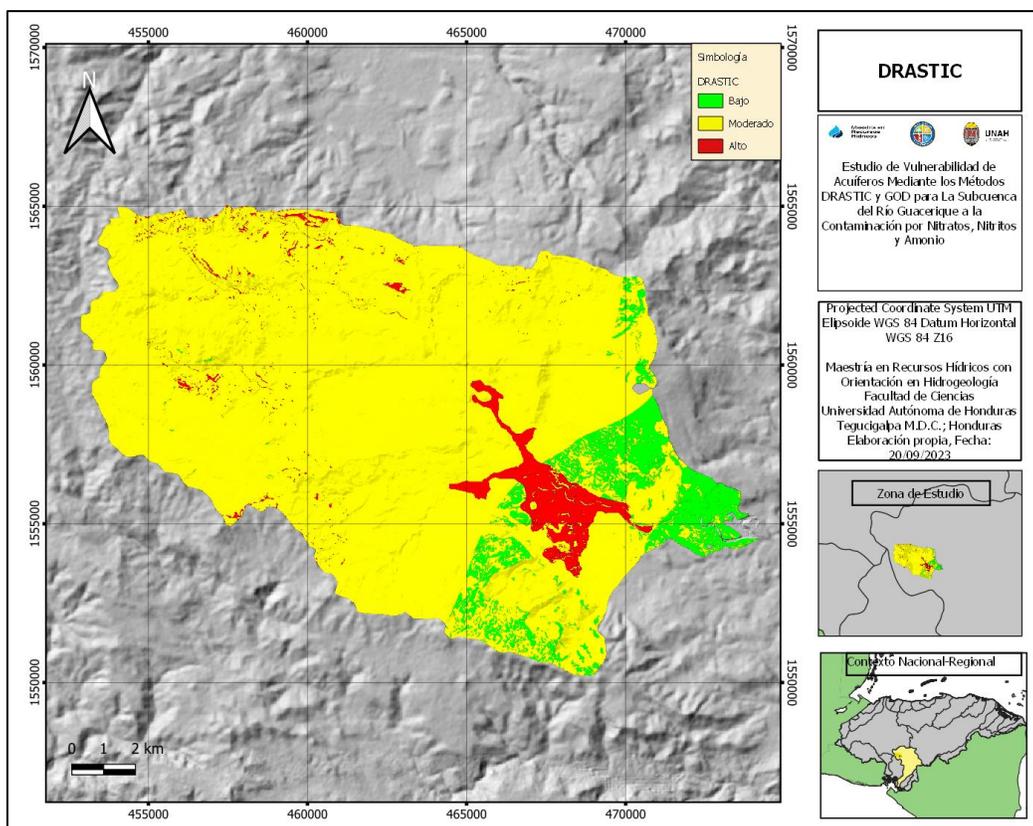


Mapa 21. (C) Conductividad Hidráulica.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2 Modelo de vulnerabilidad intrínseca y específica para los acuíferos de la subcuenca, empleando los métodos DRASTIC y GOD.

A. DRASTIC

Al conjugar cada una de las variables que determinan el nivel de vulnerabilidad de acuífero de la Subcuenca del Río Guacerique, da como resultados las siguientes susceptibilidades a la contaminación desde la superficie, como se detalla en el siguiente mapa:



Mapa 22. Vulnerabilidad de Acuíferos según DRASTIC.
Fuente: Elaboración Propia.

No.	Vulnerabilidad	Porcentaje del Territorio
2	Baja	7.06%
3	Moderada	89.00%
4	Alta	3.94%
Total		100.00%

Tabla 30. Porcentaje del territorio según su nivel de vulnerabilidad, DRASTIC.
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la tabla anterior, el 7.06% del territorio tiene un nivel de vulnerabilidad es bajo, el 89.00% tiene una susceptibilidad moderada y el 3.94% es alta. En el caso de las áreas con niveles de vulnerabilidad bajo son las rocas volcánicas que tiene poco niveles de alteración, ya sean por factores que erosiona el terreno o por la presencia de fracturas en el medio. También el nivel freático está a una profundidad mayor a los 13 metros y la presencia de arcillas y limos, con permeabilidades (conductividades hidráulicas muy bajas), el cual influye en la atenuación de un posible contaminante desde la superficie que pueda afectar el medio hidrogeológico.

El nivel de susceptibilidad moderada se presenta en las rocas volcánicas con algún nivel de alteración y fracturas en el medio, además del material aluvial que está en la parte media y baja de la subcuenca, el cual incluye las tobas presentes en la parte alta de la subcuenca. En las tobas el nivel freático es somero por la presencia alta de manantiales, debido a que el agua no profundiza su infiltración a acuíferos más profundos por que el material es altamente consolidado. También se presenta en los suelos francos limosos a francos arcillosos-limosos, con poca cobertura vegetal y con un nivel freático entre los 7 metros, y permeabilidades entre los 2 m/día y 4 m/día.

Para el territorio dentro de la subcuenca que presenta niveles de susceptibilidad altas, en su gran mayoría son las rocas porosas en el medio aluvial, con un nivel freático igual a menor a los 5 metros, con suelos francos con muy poca cobertura vegetal y permeabilidades entre los 5 m/día y 10 m/día. Hay que destacar que existen secciones del territorio que se ubica rocas volcánicas fracturadas (en su mayoría ignimbritas) el cual presenta niveles de vulnerabilidad alta, debido a la presencia de fracturas, fallas y diaclasas en su zona no saturada, siendo sumamente susceptible a una carga de contaminantes que se infiltre desde la superficie.

i. Grado de Confinamiento del Acuífero (G)

En la definición de esta variable se asignó valores teóricos del coeficiente de almacenamiento a la primera unidad litológica del mapa geológico de la subcuenca, por medio de los puntos de muestreo y apoyado en el análisis del grado de consolidación del medio subterráneo en la interpretación de los levantamientos geofísicos. De manera teórica se definió los siguientes valores, para el coeficiente de almacenamiento y su grado de confinamiento:

Código	Geología	Consolidación del Material	S	Tipo de Acuífero	Valor teórico
PM-01	Ignimbritas	Roca fracturada	0.05000	Libre	Custodio (2020)
PM-02	Ignimbritas	Roca fracturada	0.05000	Libre	Custodio (2020)
PM-03	Aluvión del Cuaternario	Medio poroso (arena, grava limpia)	0.50000	Libre	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)
PM-04	Basalto, Andesita	Roca volcánica alterada	0.02000	Libre	Custodio (2020)
PM-05	Ignimbritas	Roca fracturada	0.05000	Libre	Custodio (2020)
LRGUA-01	Basalto, Andesita	Roca volcánica alterada	0.02000	Libre	Custodio (2020)
LRGUA-02	Aluvión del Cuaternario	Medio poroso (arena, grava limpia)	0.50000	Libre	Custodio y Llamas, (1986)
LRGUA-03	Ignimbritas	Roca fracturada	0.05000	Libre	Custodio (2020)
LRGUA-04	Basalto, Andesita	Roca fracturada	0.01000	Libre	Custodio (2020)

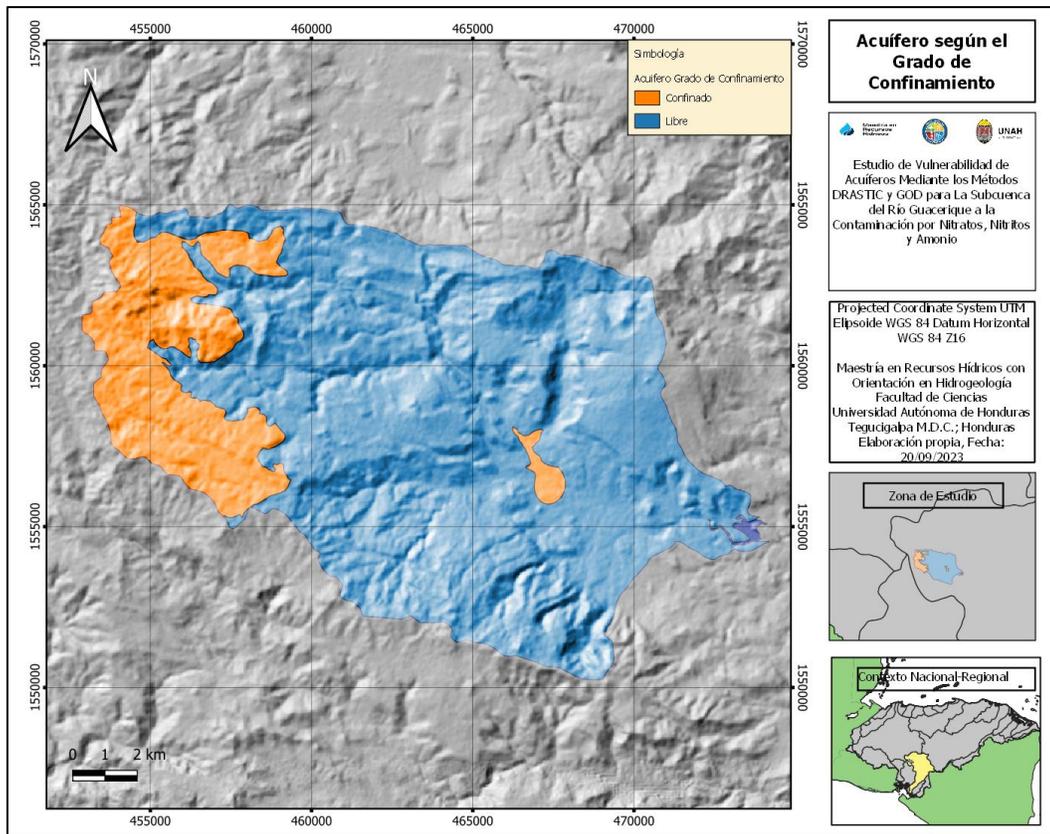
Código	Geología	Consolidación del Material	S	Tipo de Acuífero	Valor teórico
LRGUA-05	Ignimbritas	Roca fracturada	0.05000	Libre	Custodio (2020)
LRGUA-06	Ceniza Volcánica	Material consolidado	0.0017	Confinado	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-07	Basalto, Andesita	Roca volcánica alterada	0.01000	Libre	Calderón y Garfias et al., (2020) Custodio (2020)
LRGUA-08	Ignimbritas	Roca fracturada	0.00100	Confinado	Custodio (2020)
LRGUA-09	Ceniza Volcánica	Material consolidado	0.00017	Confinado	Custodio (2020)
LRGUA-10	Ignimbritas	Escazas fracturas	0.20000	Libre	Custodio (2020)
PN1	Ignimbritas	Roca fracturada	0.20000	Libre	Custodio (2020)
PN2	Aluvión del Cuaternario	Medio Poroso (Capa confinante, arcillas)	0.00010	Confinado	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)
QUIEBRAM	Aluvión del Cuaternario	Arcilla	0.00010	Confinado	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)
POLLERA	Aluvión del Cuaternario	Arcilla	0.00010	Confinado	Custodio y Llamas, (1986), Rojas (2019)

Tabla 31. Tipo de Confinamiento y Valores Teóricos de Coeficiente de Almacenamiento Específico para Cada Punto de Muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.

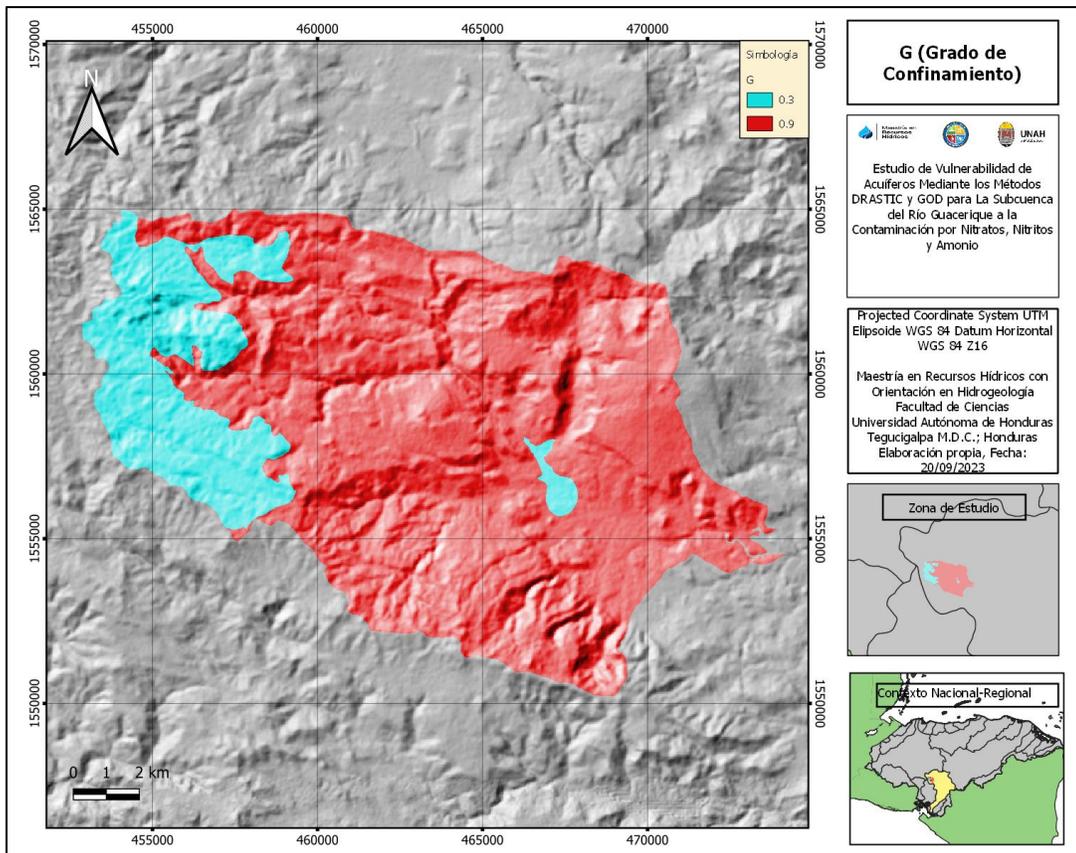
Las rocas volcánicas como las ignimbritas y andesitas-basaltos se les definió como acuíferos libres, debido a la presencia de fracturas en sus zonas no saturadas, a excepción de las tobas que no presenta algún grado de alteración. El aluvión del cuaternario difiere su grado de confinamiento, para PM-03 y LRGUA-02 se le definió como acuífero libre debido a la presencia de gravas y arenas limpias, sin embargo, para PN2 se observó en el perfil geofísico la presencia de una capa confinante por encima del primer acuífero, y en el caso de Quiebramontes y Pollera es confinado⁶. Al conjugar la información geológica y los parámetros teóricos, se determinó la geometría de los acuíferos presentes, según su grado de confinamiento, dando como resultado lo siguiente:

⁶ Definidos en las conclusiones de la tesis “Caracterización Hidráulica del Campo de Pozos Hacienda Guacerique y Quiebramontes en La Parte Media de La Subcuenca del Río Guacerique” Rojas (2019).



Mapa 23. Delimitación de los Acuíferos por su Grado de Confinamiento, Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: Elaboración Propia.

Utilizando el grado de confinamiento de los acuíferos presentes en la subcuenca, se les asigna el peso ponderación según GOD, permitiendo obtener el siguiente resultado:



Mapa 24. G (Grado de Confinamiento).
Fuente: Elaboración Propia.

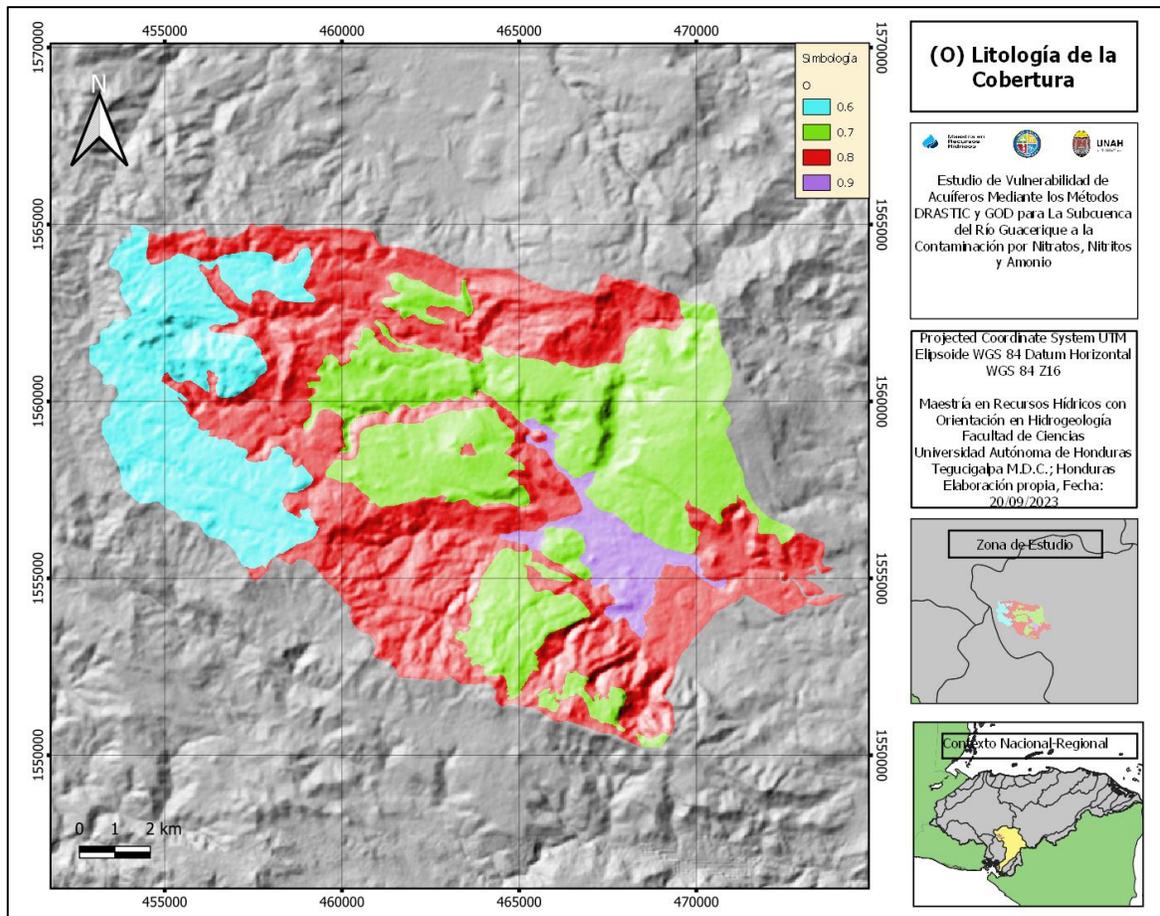
ii. Litología de la Cobertura (O)

En la definición de la litología de la cobertura se utilizó el mapa geológico de la Subcuenca, además se interpretó los levantamientos geofísicos para saber el grado de consolidación del material geológico, permitiendo determinar el peso de ponderación para cada unidad litológica como se detalla a continuación:

No	Unidad Geológica	Litología del Acuífero Según GOD	Valoración Ar	Observaciones
1	Aluvial cuaternario	Abanico aluvial-Gravas	0.9	Deposición de material aluvial proveniente del Río Guacerique.
2	Basalto, Andesita	Lava volcánica reciente	0.7	Roca volcánica con algún grado de fracturación del material
3	Cenizas Volcánicas	Tobas volcánicas	0.6	Material altamente consolidada.
4	Ignimbritas	Ígneas /Formaciones metamórficas	0.8	Medio fracturado en ignimbritas

Tabla 32. Litología de la cobertura y pesos de ponderación según GOD.

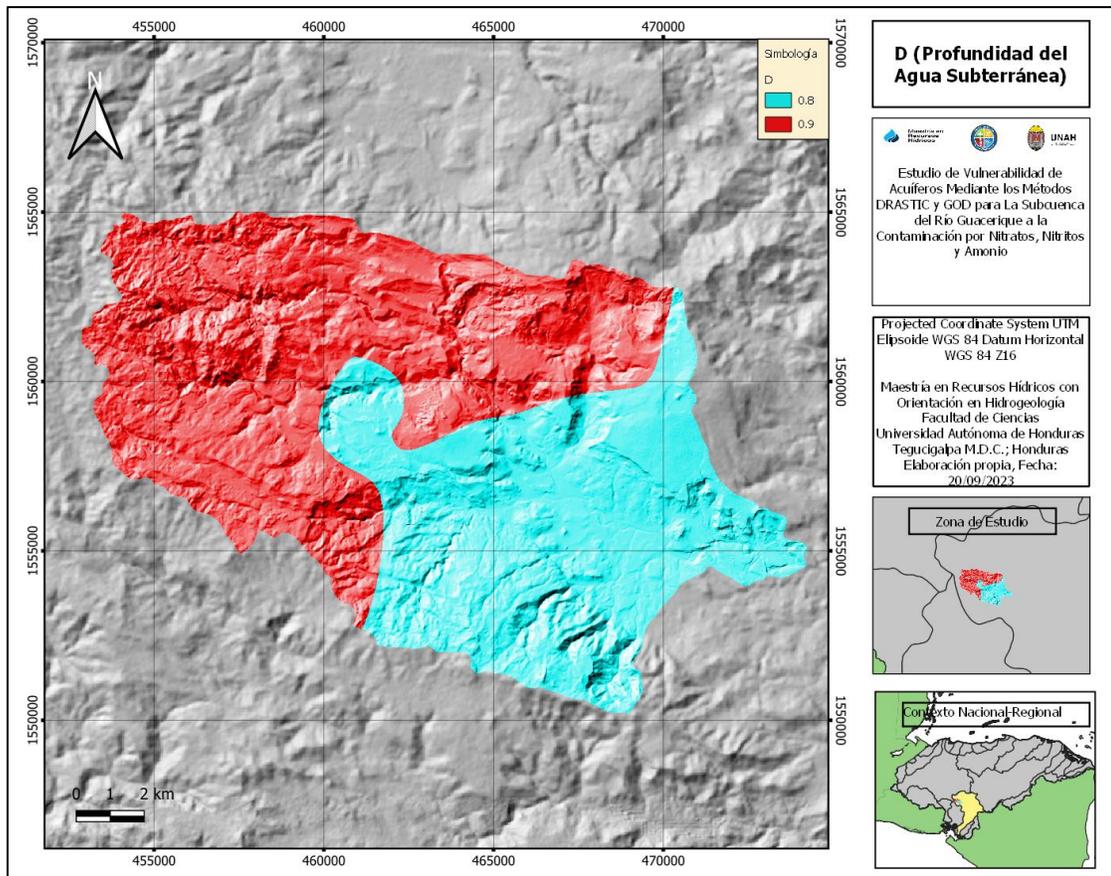
Fuente: Elaboración Propia.



Mapa 25. (O) Litología de la Cobertura.
Fuente: Elaboración Propia.

iii. Profundidad del Agua Subterránea (D)

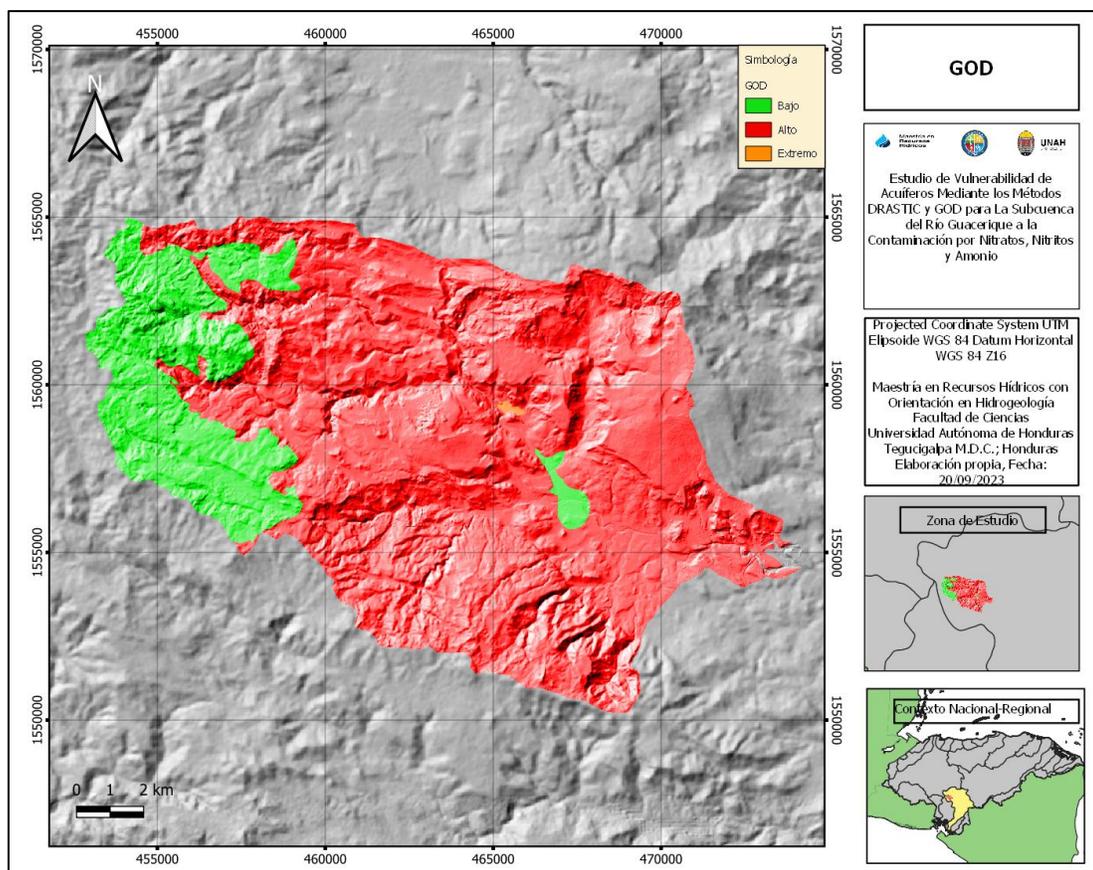
En la construcción de esta variable, se utilizó el mapa de nivel freático de la Subcuenca del Río Guacerique, en la cual se le asignó el peso ponderación según GOD en función de la profundidad del agua subterránea, dando como resultado la siguiente variable:



Mapa 26. D (Profundidad del Agua Subterránea).
Fuente: Elaboración Propia.

B. GOD

Al unir cada una de las variables para determinar el nivel de vulnerabilidad de acuífero según GOD, da como resultados los siguientes niveles de susceptibilidad como se detalla en el siguiente resultado:



Mapa 27. GOD.

Fuente: Elaboración Propia.

No	Vulnerabilidad	Porcentaje del Territorio
1	Bajo	17.80%
2	Alto	82.09%
3	Extremo	0.11%
Total		100.00%

Tabla 33. Porcentaje del Territorio según su Nivel de Vulnerabilidad, GOD.

Fuente: Elaboración Propia.

El 17.80 % del territorio su nivel de vulnerabilidad es bajo, el 82.09 % es alto y 0.11 % es extremo. A nivel teórico gran parte de la subcuenca es susceptible a la contaminación, debido a la cercanía del nivel freático a la superficie, el grado de consolidación del material en su zona no saturada y el confinamiento de los acuíferos en la zona de estudio.

Hay que destacar que gran parte de la subcuenca a nivel teórico, son acuíferos libres en un medio fracturado por la presencia de rocas volcánicas alteradas, cuya condición se manifiesta hasta su zona no saturada, siendo muy vulnerable a cualquier carga contaminante que se lixivie desde la superficie; de igual manera, para los acuíferos libres en un medio poroso son muy vulnerable a la

contaminación, estos mismos se ubican en la parte baja y media de la subcuenca, sin embargo, parte de la zona aluvial que tienen acuíferos confinados con un nivel freático mayor a los 13 metros, tienen un nivel de vulnerabilidad bajo debido a la capacidad de atenuación que tiene su zona no saturada y su capa confinante.

6.3 Evaluación de los nitratos, nitritos y amonio y su correlación con los grados de vulnerabilidad identificados a través de los modelos.

En la época de verano se levantaron 24 puntos de muestreo para cada uno de los iones medidos (nitratos, nitritos y amonio), dividiéndose de la siguiente manera; 1) Siete (6) pozos artesanales o malacate, 2) Doce (12) manantiales 3) Cinco (5) quebradas 4) Una. (1) laguna. Estos resultados se detallan a continuación:

Código	Ubicación	X	Y	Nitrito s (mg/L N- NO2)	Nitrato s (mg/L N- NO3)	Amoni o (mg/L N- NH4)	Valor Recomendado			Valor Máximo Admisible		
							Nitrito s (mg/L N- NO2)	Nitrato s (mg/L N- NO3)	Amoni o (mg/L N- NH4)	Nitrito s (mg/L N- NO2)	Nitrato s (mg/L N- NO3)	Amoni o (mg/L N- NH4)
PM-01	Calera	46169 0	155429 3	0.007	1.1	0.15						
PM-02	Calera	46172 8	155432 7	0.004	0.9	0						
M-01	Platanal	46304 3	155698 2	0.005	1.9	0						
M-02	El Empedrado, Las pilas	46116 2	155698 2	0.007	1.8	0.01						
M-03	Las Rosas	46031 5	155735 3	0.004	1.5	0.12						
PM-03	Mateo	46553 8	155618 6	0.114	2.8	0.13						
Qb-01	Agua Zarca	46438 3	155598 6	0.002	0.5	0.12						
M-04	Guajire	45688 3	155600 1	0	0	0.25	-----	25	0.05	0.1	50	0.5
M-05	Potocolo	46044 0	155678 0	0.005	0.2	0.09						
M-06	Potocolo	46041 8	155699 0	0.007	0.5	0.05						
Qb-02	Ciprés	45569 4	155944 5	0.01	0	0						
M-07	Encinos	45662 7	155968 8	0.009	0.4	0.09						
PM-04	Quiscamote	45957 1	156034 1	0.003	2.2	0.05						
Qb-03	Sitio Lardizábal	46125 2	156187 1	0.001	0.9	0.38						
Qb-04	Rincón de Dolores	45599 6	156370 1	0.005	0.8	0.16						

Código	Ubicación	X	Y	Nitritos (mg/L N- NO2)	Nitratos (mg/L N- NO3)	Amonio (mg/L N- NH4)	Valor Recomendado			Valor Máximo Admisible		
							Nitritos (mg/L N- NO2)	Nitratos (mg/L N- NO3)	Amonio (mg/L N- NH4)	Nitritos (mg/L N- NO2)	Nitratos (mg/L N- NO3)	Amonio (mg/L N- NH4)
M-08	Balastreira	46135 1	156434 6	0.002	0	0.2						
PM-05	Santa Cruz Arriba	46758 2	156324 0	0.003	0.6	0.12						
Lg-01	Laguna del Pedregal	47031 5	155940 4	0	0	0.39						
M-09	Santa Cruz Arriba	47006 8	156231 1	0	0	0.3						
M-10	Tapias	47225 8	155532 2	0.004	0.5	0.09						
M-11	Jocomico	46779 7	155854 1	0.008	0.4	0.04						
M-12	Quebrada Pinto	46853 5	155658 6	0.006	0.3	0.05						
PM-07	Jocomico	46778 5	155822 2	0.0006	0.7	0.32						
Qb-05	Queiebramontes	46712 5	155797 6	0.003	0.7	0.11						

Tabla 34. Lugares de muestreo y resultados de compuestos nitrogenados.

Fuente: Elaboración Propia.

El valor promedio para los nitritos es de 0.0087 mg/l, para los nitratos es de 0.77 mg/l y para el amonio es de 0.13 mg/l. Los valores de nutrientes antes descritos es para la época seca.

En los manantiales el valor promedio de estos compuestos nitrogenados es de; 0.00475 mg/l para los nitritos, 0.625 mg/l para los nitratos y para el amonio 0.1075 mg/l. Al comparar estos resultados se puede encontrar que los nitratos y el nitrito están dentro de los valores recomendados y máximos admisibles; en cuanto al amonio se encontró cuatro sitios con resultados por arriba de los valores recomendados; las rosas con una cantidad de 0.12 mg/l, Guajire con un valor de 0.25 mg/l, Balastreira con 0.2 mg/l y Santa Cruz Arriba con 0.3 mg/l.

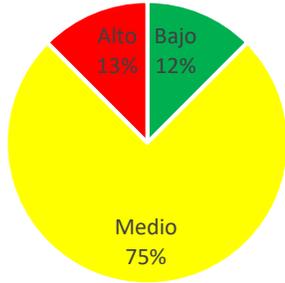
En los pozos malacates o artesanales, se obtuvo un promedio para los nitritos de 0.022 mg/l, nitratos de 1.38 mg/l y amonio de 0.13 mg/l. Al igual que las otras fuentes de aguas subterráneas (Manantiales), los resultados de nitratos y nitritos están dentro de los valores recomendados y máximos admisibles; a excepción de PM-03 Mateo con un valor de nitritos de 0.114 mg/l por arriba de la cantidad máxima admisible. En el amonio se encontró que cuatro (4) de los siete (7) pozos muestreados presentaron resultados por arriba del valor recomendado. En PM-01 y PM-02 ambas

ubicadas en el sitio denominado La Calera, se obtuvo un valor de 0.15 mg/l y 0.13mg/l, en Santa Cruz Arriba de 0.12 mg/l y Jocomico con 0.37 mg/l.

En los cuerpos de agua superficiales se encontró los siguientes valores promedios; para los nitritos una cantidad de 0.0035 mg/l, nitratos de 0.48 mg/l y amonio de 0.19 mg/l. Al igual que los cuerpos de aguas subterránea muestreados, los nitratos y nitritos están dentro de los valores recomendados y máximos admisibles. En los resultados de amonio, cinco (5) de los (6) sitios muestreados están por arriba del valor recomendado. En Agua Zarca con un valor de 0.12 mg/l, Sitio Lardisaval con un resultado de 0.38 mg/l, Rincón de Dolores con 0.16 mg/l y Quebramontes con 0.11 mg/l. En el caso de la Laguna del Pedregal es la fuente de agua que presento mayores valores de amonio con 0.39 mg/l cercano al valor máximo admisible. Hay que resaltar que la cantidad promedio de las fuentes de agua superficiales analizadas para el parámetro de amonio está por arriba del valor recomendado.

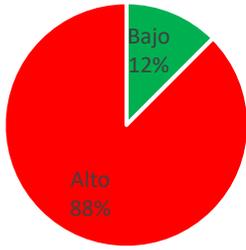
Al comprar los resultados de compuestos nitrogenados con los modelos de vulnerabilidad de acuífero se obtuvo lo siguiente:

Ubicación de puntos muestrales según nivel de vulnerabilidad en DRASTIC

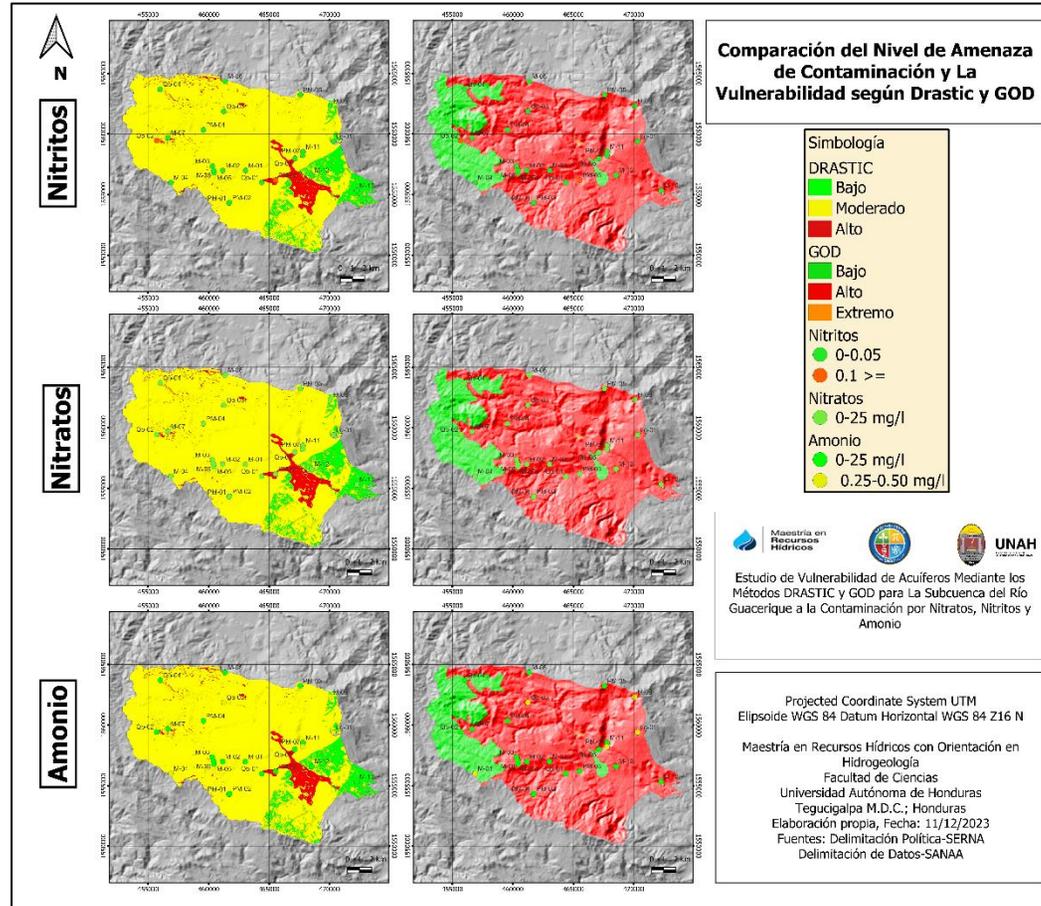


Gráficos 4. Ubicación de puntos muestrales según nivel de vulnerabilidad en DRASTIC.
Fuente: Elaboración propia

Ubicación de puntos muestrales según nivel de vulnerabilidad en GOD



Gráficos 5. Ubicación de puntos muestrales según nivel de vulnerabilidad en GOD.
Fuente: Elaboración propia



Mapa 28. Comparación del nivel de amenaza de contaminación por compuestos nitrogenados y los modelos de vulnerabilidad de acuífero según DRASTIC y GOD
Fuente: Elaboración propia

Valor Máximo Admisible

Nitrito(mg/l)	Amenaza	Cantidad	Nitrato (mg/l)	Amenaza	Cantidad	Amonio (mg/l)	Amenaza	Cantidad
0-0.05	Bajo	23	0-25	Bajo	24	0-0.25	Bajo	19
0.05-0.1	Medio	0	25-50	Medio	0	0.25-0.5	Medio	5
0.1 ≥	Alto	1	50 ≥	Alto	0	0.5 ≥	Alto	0
Total		24	Total		24			24

Tabla 35. Nivel de amenaza compuestos nitrogenados.
Fuente: Elaboración propia

En el DRASTIC el 12% de los sitios muestreados se ubicaron en áreas cuya vulnerabilidad de acuíferos es bajo, el 75% medio y el 13% alto. Además en el GOD el 12 % de los puntos de muestreos se ubicaron en zonas con vulnerabilidades bajas y el 88% alta. Hay que resaltar que los puntos de muestreos que se ubican en vulnerabilidades altas representan un riesgo alto o medio de contaminación por compuestos nitrogenados.

En las concentraciones de nitritos 22 de los sitios muestreados están en un rango de 0 mg/l-0.05 mg/l lo que representa una amenaza baja de contaminación y 2 de los puntos muestreados es mayor 0.1 mg/l (PM-03 y Qb-03) que está por arriba de la cantidad máxima admisible. Para este ion la mayor parte de la subcuenca presenta valores por debajo de los 0.02 mg/l, sin embargo, en la zona donde existe la formación aluvial presentaron cantidades por arriba del máximo valor admisible, cuya área es el que tiene mayor nivel vulnerabilidad en el DRASTIC y GOD, lo que representa un potencial riesgo de contaminación a las aguas subterráneas.

En los nitratos las 24 muestras tomadas presentaron valores entre 0 mg/l-25 mg/l, donde en su totalidad están por debajo de los valores recomendados y máximo admisible, con un comportamiento casi neutral en el momento de muestreo (verano), esto puede ser debido a la alta movilidad en el medio acuoso, la falta de infiltración dada por la lluvias que actúa en las deposición de nitratos en el suelo y el proceso de oxidación de los fertilizantes y materia orgánica en el agua. En el DRASTIC para la mayor parte de los puntos de muestreo de nitratos el nivel de amenaza de contaminación es baja a excepción de PM-03 y PM-07, el cual presenta un riesgo medio de contaminación. En el GOD la mayor parte de los puntos de muestreo tienen una amenaza baja de contaminación, sin embargo para este modelo la mayor parte de la subcuenca tiene un nivel de vulnerabilidad alto, lo que ocasiona que el agua subterránea se vea afectada en concentraciones pequeñas, representando un riesgo alto de contaminación, ya que los nitratos son persistentes y muy móviles en el agua subterránea.

En el amonio diecinueve de los puntos muestreados están en rangos de 0 mg/l-0.25 mg/l (amenaza baja) y cinco entre 0.25-mg/l (amenaza media). Hay que resaltar que estos 19 puntos muestreados están por arriba del valor recomendado, cuyas concentraciones se ubican en acuíferos porosos y fracturados, incluyendo en la zona de influencia de la Laguna del Pedregal y parte media-baja de la subcuenca. En el DRASTIC siete de los puntos muestreados representa un potencial riesgo de contaminación debido a que se ubican en zonas con vulnerabilidades altas y media. En el GOD

veintiuno de los sitios muestreados presenta un riesgo alto de contaminación ya que se ubican en zonas con alta vulnerabilidad.

La presencia de amonio y nitritos en el agua superficial y subterránea es signo de contaminación por materia orgánica en descomposición de origen animal o vegetal, presencia de aguas residuales, material fecal y uso excesivos de fertilizantes. En los manantiales la cantidad de amonio es debido a la actividad agrícola que hay en la cercanía, como la siembra de hortalizas y cafetales. En el caso de los nitritos y amonio presentes en los pozos malacates, es debido a la lixiviación e infiltración de aguas residuales provenientes de los sitios de disposición final (letrina y fosas sépticas) y la percolación de fertilizantes desde la superficie, esto puede tener graves efectos en la salud de las personas y en los ecosistemas debido a su persistencia y movilidad en el medio subterráneo. En los cuerpos de aguas superficiales están expuestos a las descargas de aguas residuales de origen doméstico, lixiviación proveniente de los fertilizantes y la disposición de materia orgánica proveniente de las actividades agrícolas y agropecuarias, lo que produce altas concentraciones de compuestos nitrogenados.

7. Discusión

En la construcción de los mapas de vulnerabilidad de acuíferos se analizó la información geológica, geofísica, hidrogeológica en otras variables que influyen en el medio subterráneo. Hay que mencionar que ambas metodologías tienen variables en común pero los rangos y pesos de ponderación difieren entre sí, como el caso de DRASTIC que es la suma de índices ponderados (Aller et al., 1987) y GOD que es el producto de tres variables vinculados a la atenuación o accesibilidad de una carga contaminante (Foster et al., 2007).

Los datos obtenidos mediante los levantamientos geofísicos, la medición de nivel freático en pozos artesanales y la información de línea base que hay en la subcuenca, muestra las condiciones hidrogeológicas del área en estudio. En las formaciones sedimentarias (Aluvial), que en su mayoría, se encuentra en la parte baja de la Subcuenca, existe una homogeneidad a lo largo de la zona no saturada con la presencia de canto rodado, arenas y gravas. El Nivel freático es variable, existen zonas con profundidades de 30 metros, hasta acuíferos más superficiales a 7.8 metros, con una media entre 15 a 20 metros. Para este tipo de formación, el grado de vulnerabilidad depende en gran medida de la porosidad primaria debido al tamaño del grano y el grado de clasificación del material (Aller et al., 1987).

En las rocas volcánicas como el basalto-andesita, a lo largo de su zona no saturada varían según el grado de exposición del material a factores que meteoriza la roca. En algunas zonas el material es consolidado sin fractura, en comparación con otros lugares de la Subcuenca donde el material está alterado con cierto nivel de saturación de agua. El nivel freático es variable a lo largo de la formación, el cual depende del nivel de fracturas de la roca, su interconexión y el nivel de saturación de estas. Existen zonas donde el nivel freático es somero a menos de 1 metro de profundidad, y lugares con profundidades mayores a los 30 metros. Las ignimbritas a lo largo de su zona no saturada el material está alterado con un grado alto de fracturas (porosidad secundaria alta), con una marcada interconexión entre la superficie, medio litológico y la zona saturada. En esta formación el nivel freático es el más somero, con profundidades de 15 metros hasta valores menores a los 1.5 metros; con una media entre 9 a 15 metros. El nivel de vulnerabilidad de las ignimbritas, basaltos y andesitas depende del grado de fracturación de la roca y su interconexión entre las mismas (Aller et al., 1987), ya que promueve el flujo preferencial del contaminante en el medio (Foster et al., 2007).

Las tobas (ceniza volcánica), su zona no saturada se caracteriza por ser bien consolidado con la presencia de pocas fracturas. La saturación de agua en el medio es baja o nula, con una profundidad del nivel freático que oscila entre los 0.5 metros a los 30 metros, debido a que ciertas zonas presenta una cantidad considerable de manantiales, esto representa, que el agua infiltrada no llega a profundizar por el tipo de material del estrato rocoso, quedando en acuíferos somero o en flujos subsuperficiales.

Por medio de la información de geofísica y datos de línea base se construyó los modelos de vulnerabilidad de acuífero. En el DRASTIC las vulnerabilidades baja se da en su mayoría en los basalto-andesita no alterado; el nivel moderado en las tobas con acuíferos someros, ignimbritas y partes de los basalto-andesitas, los cuales presentan cierto grado de alteración por la presencia de fracturas en el medio; y el nivel de vulnerabilidad alto se observa en una parte de la deposición aluvial, y ciertas secciones de las ignimbritas que presentan muchas fracturas. Por lo general en rocas que presentas fracturas tienen susceptibilidades que van de medio a alto, debido a la poca capacidad de atenuación que se pueda tener a una carga contaminante, una vez que ingresa al sistemas de fracturas (Aller et al., 1987).

En el GOD los acuíferos porosos y fracturados con un grado de confinamiento libre, presenta altos niveles de vulnerabilidad intrínseca. Además, parte del acuífero aluvial es confinado dando niveles de vulnerabilidad que oscila entre bajo a moderado. En las tobas el nivel de vulnerabilidad es bajo por el grado de consolidación del material. En este modelo de vulnerabilidad de acuífero las características de los estratos que están por encima de la zona no saturada, juegan un papel importante en su nivel de susceptibilidad, debido al grado de consolidación del material y la litología (Foster & Hirata, 1991), permitiendo determinar de manera teórico el grado de confinamiento y los pesos de ponderación en el medio subterráneo.

Al comparar los dos modelos de vulnerabilidad de acuífero, se observa resultados similares en sus grados de vulnerabilidad. En el DRASTIC, más del 80% del territorio su grado susceptibilidad a la contaminación es de moderado a alto, análogo a los resultados obtenidos con GOD, presentando vulnerabilidades altas en más del 80% del territorio, es debido a que la mayor parte de la subcuenca es roca volcánica joven con fracturas. Hay que resaltar que existen también diferencias entre los dos modelos en cuanto a sus resultados, ya que el DRASTIC analiza la vulnerabilidad específica de los acuíferos (dando peso adicional a cada variable) y el GOD plasma la vulnerabilidad intrínseca del medio subterráneo. Para obtener mayor detalle en el GOD es necesario un estudio que defina las

unidades hidrogeológicas e hidroestratigráfica de los acuíferos en la Subcuenca, el cual se puede delimitar según las características de hidráulica subterránea del área en estudio (GCF INGENIEROS, 2014) . Sin embargo tanto en el DRASTIC y GOD existen ciertas similitudes en el acuífero aluvial en la parte media y baja de la subcuenca, donde en el DRASTIC su grado de vulnerabilidad es alto en comparación del GOD que va alto a extremo.

En la medición de los compuestos nitrogenados, en los nitritos la mayor parte de la subcuenca presenta concentraciones por debajo de los valores máxima admisible y recomendado, sin embargo existe un sitio de muestreo que supera 0.1 mg/l. En los nitratos tiene un comportamiento casi neutral por debajo de los valores máxima admisible y recomendado. En el amonio en la mayor parte de la subcuenca está por arriba del 0.05 mg/l del valor recomendado, y algunos sitios cercano al 0.5 mg/l de la cantidad máxima admisible, en especial la Laguna del Pedregal (0.39 mg/l). La presencia de amonio en el agua es debido al uso excesivo de fertilizantes y contaminación por materia orgánica, lo cual puede presentar un riesgo para la salud de las personas y a los ecosistemas presentes en la Subcuenca. Hay que resalta que el amonio es el primer compuesto en el proceso de transformación de las sustancias nitrogenadas el cual en presencia de oxígeno se transforma en nitratos (Aller et al., 1987), este proceso se puede dar en las aguas superficiales en verano o en la deposiciones que exista en el suelo, que al diluirse por la acción de las lluvias en invierno, puede infiltrarse y afectar el medio subterráneo.

Al comparar los resultados del muestreo de nitrogenados y de vulnerabilidad de acuíferos, encontramos que para la época de verano tanto los nitratos y nitritos no representan un riesgo alto de contaminación al medio hidrogeológico (a excepción de algunos puntos de muestreos en el nitrito); Sin embargo el amonio en esa época del año, representa un riesgo potencial para los acuíferos que están dentro en la subcuenca, en especial, las rocas porosas y fracturadas que tienen una susceptibilidad de moderada a alta. Además las concentraciones de amonio encontradas, también representa una amenaza de contaminación en los acuíferos con grado de vulnerabilidad bajo.

8. Conclusiones

1. El potencial hidrogeológico de la subcuenca se concentra en las formaciones sedimentarias en su parte baja con la presencia de acuíferos porosos, y las ignimbritas por la presencia de acuíferos fracturados, donde el nivel freático de las formaciones sedimentarias tiene una media de 15 a 20 metros y la roca volcánica (ignimbritas) entre 9 a 15 metros.
2. En la interpretación de los levantamiento geofísicos, -la ignimbritas presenta una alta cantidad de fracturas al igual y menor manera las andesitas basaltos, con la deferencia que las primeras tiene mayor saturación de agua en comparación con la segunda, además, las tobas presenta mayor grado de consolidación del material debido a los altos niveles de resistividades.
3. En el DRASTIC el 7.06 % del territorio tiene un nivel de vulnerabilidad bajo, el 89.00% tiene una susceptibilidad moderada y el 3.94% es alto. Las vulnerabilidades baja se concentran en las rocas volcánicas sin alteración donde se ubican las andesitas-basaltos. Las vulnerabilidades moderas y altas se concentra en las rocas volcánicas fracturas (ignimbritas y parte de las andesitas-basalto) y la deposición aluvial en la parte baja y media de la subcuenca, además de las tobas por la poca profundidad del agua subterránea, debido a la presencia de manantiales. En el GOD más del 75% del territorio tiene una vulnerabilidad intrínseca alta, esto es debido al grado de confinamiento del acuífero que en su mayoría es libre, a excepción de una parte del formación aluvial que tiene una parte confinada, al igual que la toba que por su grado de consolidación en su zona no saturada tiene esta misma clasificación.
4. Al comparar a DRASTIC y GOD, tiene calificaciones con respecto al territorio de la subcuenca diferentes, debido a su categorización, en el primero es orientado a la vulnerabilidad específica de los acuíferos y el segundo a la intrínseca. Sin embargo en el GOD es necesario trabajar más en los parámetros hidráulica subterránea de los acuíferos, en este caso el coeficiente de almacenamiento específico.
5. Se puede concluir que el nivel de vulnerabilidad de acuífero según los modelos planteado, su susceptibilidad a la contaminación es de moderado a alta, debido al grado de consolidación del material en los acuíferos porosos y el nivel de fracturación de las rocas volcánicas en la subcuenca.
6. En los compuestos nitrogenados para la época de verano del año 2022 tiene el siguiente comportamiento; en los nitritos la mayor parte de la subcuenca presenta concentraciones por debajo de los valores recomendando y máximos admisibles, a excepción de un punto de muestreo (PM-03) que presenta valores por arriba de los 0.1 mg/l, esto es debido a una fuente de contaminación local (cercanía de una letrina y pastizales para ganado) en el sitio de

muestreo. En el caso de los nitratos tiene valores casi neutrales. En el amonio la mayor parte de la subcuenca tiene valores por arriba del valor recomendado de 0.05 mg/l.

7. Al relacionar la vulnerabilidad de acuíferos con los resultados de muestreo de compuestos nitrogenados encontramos que en la época de verano tanto los nitritos y nitratos debido a su comportamiento casi neutral en la mayoría de puntos de muestreo, representando una amenaza baja en la zonas con niveles de vulnerabilidad que van de moderada a alta; sin embargo, el amonio en la época de verano representa una amenaza significativa, debido a sus concentraciones que están por arriba de la cantidad recomendada y cercano al valor máximo admisible, afectando no solo a las zonas de la Subcuenca con vulnerabilidades alta a moderadas sino en lugares con susceptibilidades bajas.

9. Recomendaciones

1. Establecer una red de monitoreo a través de piezómetros en la subcuenca, el cual permita además, obtener otros parámetros hidráulicos del acuífero como ser; conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, nivel freático y piezometría entre otros.
2. Realizar pruebas de infiltración en cada unidad hidrogeológica, para determinar de una manera más precisas la recarga hídrica en la subcuenca.
3. Tener un repositorio de los datos de geofísica realizados por investigadores que han trabajado en esta zona de estudio, esto permitiría una mejor conceptualización del medio subterráneo e hidrogeológico de la subcuenca.
4. Definir las unidades hidrogeológicas e hidroestratigráfica de la Subcuenca del Rio Guacerique, el cual facilitaría una mejor definición de un modelo de vulnerabilidad de acuífero (GOD).
5. Continuar con el trabajo de investigación en el tema de vulnerabilidad de acuíferos, apoyado de mayor cantidad de levantamiento geofísicos y la posibilidad de la obtención de los parámetros de hidráulica subterránea de la subcuenca a nivel de campo.
6. Utilizar estos resultados como herramientas de gestión del territorio, mediante su incorporación en el plan de manejo de la subcuenca.
7. A nivel de los gestores de la subcuenca, trabajar en temas de saneamiento básico y adecuado en función del nivel de vulnerabilidad de los acuíferos, además de prácticas agrícolas sostenibles que disminuya el uso de fertilizantes sintéticos que contribuyan una mayor carga de concentraciones de compuestos nitrogenados.
8. Establecer una red de monitoreo de compuestos nitrogenados en verano, con un especial énfasis en el amonio, el cual también incluya el amoniaco, ya que estos se libera por descomposición de la materia orgánica.

10. Contribuciones científicas

Sección 1: Publicaciones

Estado de la publicación: Proceso de aceptación.

Autores: Ordoñez Reyes, Eduardo David ¹⁷

Rodríguez, Manuel⁸

Peña-Paz, Tania⁹

Revista: BIONATURA

Título del Artículo: Análisis Geofísico e hidrogeológico de los acuíferos presentes en la Subcuenca del Río Guacerique

Fecha de publicación/aceptación/envío: 31/07/2023.

Resumen: Los procedimientos para conocer las características geológicas e hidrogeológicas en los acuíferos presentes en la Subcuenca del Río Guacerique, es necesario para la gestión hídrica en calidad y cantidad, la cual ha sido impactada en los últimos años debido a la intervención antropogénica. La metodología consistió en la medición del nivel freático de pozos malacates, levantamiento geofísico (tomografía eléctrica) y la recopilación de información de la base de datos del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT). El área de estudio muestra una heterogeneidad del medio no saturada, en especial en las rocas volcánicas, el cual presentan cambios en su porosidad, debido a la presencia de fracturas. El nivel freático es variable, especialmente en las rocas volcánicas con la existencia de acuíferos someros en las ignimbritas y profundos en las tobas. En el caso de las rocas sedimentarias el nivel freático es consistente en toda la formación, con la existencia en algunas zonas con mayor profundidad.

ISBN:

Sección 2: Congresos

Nombre del Congreso: VI Encuentro Bienal Centroamericano y del Caribe de Investigación y Posgrado 2023

Autor(es): Ordoñez Reyes, Eduardo David.

Título de la ponencia/póster: Análisis Geofísico e hidrogeológico de los acuíferos presentes en la Subcuenca del Río Guacerique

Fecha del evento: 17/11/2023.

⁷ Maestría en Recursos Hídrico, IHCIT, Universidad Autónoma de Honduras; eordonez1986@gmail.com 1

⁸ Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Honduras; mrodriguez@unah.edu.hn

⁹ Maestría en Recursos Hídrico, IHCIT, Universidad Autónoma de Honduras; tania.pena@unah.edu.hn

Resumen: Los procedimientos para conocer las características geológicas e hidrogeológicas en los acuíferos presentes en la Subcuenca del Río Guacerique, es necesario para la gestión hídrica en calidad y cantidad, la cual ha sido impactada en los últimos años debido a la intervención antropogénica. La metodología consistió en la medición del nivel freático de pozos malacates, levantamiento geofísico (tomografía eléctrica) y la recopilación de información de la base de datos del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT). El área de estudio muestra una heterogeneidad del medio no saturada, en especial en las rocas volcánicas, el cual presentan cambios en su porosidad, debido a la presencia de fracturas. El nivel freático es variable, especialmente en las rocas volcánicas con la existencia de acuíferos someros en las ignimbritas y profundos en las tobas. En el caso de las rocas sedimentarias el nivel freático es consistente en toda la formación, con la existencia en algunas zonas con mayor profundidad.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Arias, D. E., Ramírez, O. E., & Hoyos Patiño, F. (10 de Junio de 20212). *RELACIONES GEOELECTRICAS EN LA EXPLORACION GEOTECNICA*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/download/31252/43363>
- Al-Adamat, R. A., Foster, I. D., & Baban , S. M. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23(4), 303-324.
- Alianza Biodiversity y CIAT. (19 de Marzo de 2021). *La plataforma Agua de Honduras ahora disponible para la Región de Desarrollo 13 (R13) - Golfo de Fonseca*. Obtenido de <https://alliancebiodiversityciat.org/es/stories/la-plataforma-agua-de-honduras-ahora-disponible-para-la-region-de-desarrollo-13-r13-golfo#:~:text=El%20territorio%20hondure%C3%B1o%20debido%20a,el%20Atl%C3%A1ntico%20y%20el%20Pac%C3%ADfico>.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. EPA, Oklahoma.
- Argeñal Umanzor, J. A. (2019). *Portafolios de Inversión Para la Conservación de Servicios Ecosistémicos, Usando Los Modelos Geoespaciales, en las Subcuencas Guacerique y Concepción*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Honduras, Facultad de Ciencias Espaciales, Tegucigalpa.
- Arias Gómez, P. A., & Jaramillo , G. P. (2004). Estimación de la Relación Adimensional de Budyko en Colombia. Colombia.
- Arizabalo, R. D., & Díaz, G. (1991). La contaminación del agua subterránea y su transporte por el medio poroso.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1982). CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE 1982, DECRETO N° 131.
- Auge, M. (2007). *Vulnerabilidad de Acuífero*. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires.
- Ayala, M. (2019). Clase Magistral Hidrología. Tegucigalpa, Honduras.

- Barbash, J. E., & Resek, E. A. (1996). *Pesticides in Ground Water: Distribution, Trends, and Governing Factors*. CRC Press.
- Barrera de Calderon, M., Garfias, J., Martel, R., & Salas Garcia, J. (s.f.). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Obtenido de Controles geológicos en el flujo de agua subterránea y distribución de volúmenes de extracción asociados a una estructura volcánica compleja: http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/volumenes-volumes/cuarta-epoca/375-sitio/articulos/cuarta-epoca/7301/2321-7301-11-A170820_Barrera
- Bense, V. F., & Hiscock, K. M. (2014). *Hidrogeología, Principios y Practicas* (Segunda ed.). Oxford: Wiley Blackwell.
- Bolaños Alfaro, J. D., Cordero Castro, G., & Segura Araya, G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. Universidad de Costa Rica, Ciencias Naturales. Alajuela: Tecnología en Marcha.
- Briones Carrillo, J. A., Soto Villalobos, R., Aguilar Madera, C. G., Ramos Ledezma, A., Rodríguez Gómez, J. O., & Rodríguez Ledezma, A. (2016). Estimación de porosidad en areniscas a partir de micrografías digitales utilizando R-Studio. *Ciencias UANL*, 36.
- Budoky. (1974). *Climate and life*. Academic Press.
- Burger, R. (1992). Introduction to applied geophysics, Capitulo V. New York: W.W. Norton & Compay, Inc.
- Carpenter, S., Chair, Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 559-568.
- Congreso Nacional de Honduras. (9 de Abril de 1927). LEY DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES. Tegucigalpa, Honduras.
- Congreso Nacional de Honduras. (1993). Ley General del Ambiente, Decreto N° 104-93.
- Congreso Nacional de Honduras. (14 de Diciembre de 2009). Decreto 181-2009 Ley General de Aguas.
- Cooper, & Jacob. (1946). A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History. 526-534. American Geophysical Union.

- Corrales, R. (2010). *CARACTERIZACIÓN DE ALTERACION HIDROTERMAL Y DINAMICA DE COBERTURA DE SUELOS MEDIANTE METODOS DE TELEDETECCIÓN, EN EL VALLE DE CHOLUTECA, HONDURAS*. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Universidad Autonoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa.
- Custodio E. (1983). Hidrología Subterránea, Tomo I, Capítulo 5.2 Los Acuíferos o Embalses Subterráneos. En E. Custodio, & L. M.R.. Madrid: Segunda Edición - Omega.
- Custodio Gimena, E. (2020). *Hidrogeología y recursos de agua subterránea en formaciones e islas volcánicas*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: CETAQUA Barcelona y DINAPSIS. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/347150>
- Custodio, E. . (1993). Aquifer intensive exploitation and over-exploitation with respect to sustainable development. *Int. Conf, Environmental Pollution, European Center for Pollution Research* , 2: 509-516.
- Custodio, E. (2001). Hidrología Subterránea, Tomo II - Capítulo 13 Relaciones agua dulce - agua salada en las regiones costeras. En E. Custodio, & L. M.R.. Barcelona, España : Omega.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea, Tomo I*. Barcelona, España: Ediciones omega, S.A; Segunda Edición .
- DARNA-TSC. (2017). AUDITORÍA DE GESTIÓN AMBIENTAL A LA SUBCUENCA DEL RÍO GUACERIQUE.
- de Glee. (1930). Over grondwaterstromingen bij wateronttrekking door middel van putten.
- Del Campo, J. (1989). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO PROFUNDO DE LA CIUDAD DE PIURA PARA CUANTIFICAR INTERFERENCIA ENTRE POZOS.
- Dietrich, S. (2013). *Infiltración y recarga a través del suelo y zona no saturada en áreas de llanura. Caracterización en base a la aplicación de tomografía eléctrica y trazadores*. Tesis, Universidad de Buenos Aires (UBAS), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires.
- Dubrovsky, N. M., Burow, K. R., Clark, G. M., Gronberg, J. M., Hamilton, P. A., Hitt, K. J., . . . Wilber, W. G. (2010). The quality of our Nation's waters—Nutrients in the Nation's streams and groundwater, 1992–2004. US Geological Survey Circular 1350.
- Dupuit. (1836). "Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux". Paris: Deuxieme edition.

El agua en el suelo: fuerzas de retención. (s.f.).

Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez-Vila, X., & Vázquez-Suñé, E. (2009). *Hidrogeología*. (C. d. Subterránea, Ed.) Barcelona: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.

Esri. (2023). *Diccionario SIG de Esri*. Obtenido de <https://support.esri.com/es-es/gis-dictionary/universal-kriging>

Esri. (2023). *Información sobre el kriging ordinario*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/understanding-ordinary-kriging.htm>

ESRI. (2023). *Información sobre el kriging simple*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/understanding-simple-kriging.htm>

Estévez, R. (14 de Mayo de 2019). *Interpolación espacial en QGIS: métodos, procesos y evaluación*. Obtenido de geomapik: <http://www.geomapik.com/analisis-gis/como-realizar-interpolacion-espacial-qgis-metodos/>

FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua-Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*.

FAO. (s.f.). 6. *TEXTURA DEL SUELO*. Obtenido de https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall.

Foster, & Hirata. (1987). *Contaminación de Aguas Subterráneas*. CEPIS, Lima.

Foster, S. (1991). Unsustainable development and irrational exploitation of groundwater resources in developing nations - an overview. *XXIII IAH Congress*, , I: 385 - 401.

Foster, S., & Hirata, R. (1991). *Determinacion del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterranas*. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima: OMS.

Foster, S., Hirata, R., & Andreo, B. (2013). El concepto de vulnerabilidad a la contaminación acuífera: ¿ayuda o impedimento para la promoción de la protección de las aguas freáticas? *Hydrogeology Journal*.

- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2007). Groundwater Quality Protection - a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. The World Bank.
- GCF INGENIEROS. (2014). *METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN Y SECTORIZACIÓN DE ACUÍFEROS A NIVEL NACIONAL*. Gobierno de Chile, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN, Santiago.
- Global Water Partnership (GPW). (2011). *CICLO HIDROLÓGICO*. Sociada Geografica de Lima, Lima.
- Gogu, R. C., & Dassargues, A. (2000). Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*.
- GÓMEZ, J. R. (2009). *GEOLOGÍA, GEOFÍSICA, HIDROGEOQUÍMICA E ISÓTOPOS, COMO HERRAMIENTAS PARA DEFINIR UN MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLOGÍCO, CASO DE APLICACIÓN: ACUÍFERO COSTERO DEL MUNICIPIO DE TURBO*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Facultad de Minas, Medellín.
- González , E. (2021). *PLANKTON (Parte 1). Comunidades dulceacuícolas, Plantas acuáticas, Fitoplancton*. Caracas, Venezuela.
- Gutiérrez, B., Lanza, R., Garcia, N., & Garcia, M. (2017). *EVALUACIÓN DEL RIESGO HÍDRICO EN LA Tegucigalpa : UNAH - IHCIT* .
- Hernández Cáceres, A. J. (2003). *DINÁMICA DEL USO DE LA TIERRA Y DE LA OFERTA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO GUACERIQUE, TEGUCIGALPA, HONDURAS*. Tesis, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Tegucigalpa.
- ICF. (2021). *Anuario Estadístico Forestal*. Unidad de Monitoreo Forestal, Tegucigalpa.
- ICF-SANAA. (2012). *PLAN DE PROTECCION Y MANEJO INTEGRAL DE LA SUBCUENCA DEL RIO GUACERIQUE*. Tegucigalpa.
- INE. (2013). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Obtenido de <https://www.ine.gob.hn/V3/>
- INE, I. N. (2013). *XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda* . Informe de País, Instituto Nacional de Estadística , Francisco Morazan , Tegucigalpa. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de <http://www.redatam.org/binhnd/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=MUNDEP11&lang=ESP>

- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT). (2014). *Estudio Hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del Rio Choluteca*. Tegucigalpa.
- Jiménez Cisneros, B. E., Oki, T., Arnell, N. W., Benito, G., Cogley, J. G., Döll, P., . . . Mwakalila, S. (2014). "Freshwater resources". In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Junker, M. (2005). *Metodología RAS para determinar la recarga de agua subterránea*. FORGAES, San Salvador.
- Larios Ortiz, L., Cañas Pérez, R., Sánchez Carmona, Á. M., & Capote Fradera, A. (2004). La contaminación del agua de pozo como causa de metahemoglobinemia en niños. *Camagüey 19852001*. Cuba: Scielo.
- Lillo, J. (2000). *Técnicas Hidrogeoquímicas*. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.
- Marquez, J. L. (2018). *USO DE SIG PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN EN ACUÍFEROS DE LA YARADA Y LOS PALOS EN TACNA*. Tesis, Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima.
- Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos*. (24 de Septiembre de 2013). Obtenido de gidahatari: <https://gidahatari.com/ih-es/metodos-determinacion-vulnerabilidad>
- MIAMBIENTE +. (2014). Informe del Estado del Ambiente- GEO Honduras 2014.
- Montaño Xavier, J., Gagliardi, S., Vidal, H., Montaño, M., & F. da Lucena, L. R. (2004). EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO MERCEDES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE PAYSANDÚ – COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS GOD Y DRASTIC. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*.
- Montiel Cortés, A. V. (2022). *CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA PARA EVALUAR LA POTENCIALIDAD DE RESERVAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS EN EL SECTOR MOLCO, REGIÓN DEL MAULE, CHILE*. Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología.
- Montoya, S. (30 de diciembre de 2015). *¿Cuáles son los métodos de interpolación espacial de SAGA GIS?* Obtenido de gidahatari: <https://gidahatari.com/ih-es/cuantos-metodos-de-interpolacion-espacial-hay-en-saga-gis>

- Nolan, B., & Hitt, K. J. (2006). Vulnerability of shallow groundwater and drinking-water wells to nitrate in the United States. *Environmental Science & Technology*, 40(24), 7834-7840.
- OCSA. (2016). *Método de tomografía eléctrica*. Obtenido de <https://ocsa-geofisica.com/tomografia-electrica.html>
- ONU. (1972). *Manual de instrucciones, estudios hidrológicos*. San José, Costa Rica.
- ONU. (2022). *Naciones Unidas*. Obtenido de Desafíos Globales Agua: <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (1992). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Obtenido de <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html#:~:text=La%20Conferencia%20de%20las%20Naciones,14%20de%20junio%20de%201992>.
- OSGeoLive. (2011). SAGA. Obtenido de https://live.osgeo.org/es/overview/saga_overview.html
- Padilla Padilla, A., & Elvir Barahona, C. (2012). *Informe sobre la Situación Actual de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en Honduras*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA).
- Poncela Poncela, R. (2015). *Hidrogeología del Sistema de Acuífero Volcánico de la Palma (Islas Canarias)*. Universidad de Alicante, Ingeniería Civil, Alicante.
- Rahman, A. (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, 28(1), 32-53.
- Republica de Honduras Ministerio de la Salud. (1995). *Norma Técnica para la Calidad del agua Potable*. Recuperado el Septiembre de 2013, de <http://www.salud.gob.hn/transparencia/archivos/regulacion/leyes/NORMA%20TECNICA%20CALIDAD%20AGUA%20POTABLE%20%20Honduras.pdf>
- Rodríguez, D. M., & Pérez Álvarez, P. (Septiembre de 2014). DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA POTENCIAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA GUARA, DE CUBA. *Aqua-LAC*, VI(2), 58-70. Obtenido de <https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/127/103>
- Rodríguez, G. O. (2019). Disponibilidad y calidad del agua en el embalse Los Laureles de Tegucigalpa, Honduras y su relación por efecto de la variabilidad climática.

- Rojas Izagirre, G. (Noviembre de 2019). *CARACTERIZACION HIDRAULICA DEL CAMPO DE POZOS HACIENDA GUACERIQUE Y QUIEBRAMONTES EN LA PARTE MEDIA DE LA SUBCUENCA DEL RIO GUACERIQUE*. Tesis, Universidad Autonoma de Honduras (UNAH), Facultad de Ciencias, Tegucigalpa.
- Sánchez, A., Maradiaga, P., & Ordoñez, E. (2013). *Potencial de Infiltración en los Suelos Presentes en la Subcuenca del Río Guacerique*. Universidad Autonoma de Honduras (UNAH), Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Tegucigalpa.
- Sanchez, J. (2022). *Conceptos Fundamentales de Hidrogeología*. Universidad de Salamanca, Geología. Obtenido de https://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf
- Sanchez, R. I. (2016). *Prospección de Aguas Subterráneas en los Valles Centrales de Oaxaca a Partir de los Métodos Geofísicos Gravimétricos, Magnetometría y Resistividad Eléctrica*. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlan.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL. *Revista Geológica de América Central*, 13.
- SEHEDIS. (2021). *Sísmica de Suelos*. Obtenido de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV): <https://sismica.com.mx/procedimientos/sondeo-electrico-vertical.php#:~:text=El%20Sondeo%20El%C3%A9ctrico%20Vertical%20es,el%20paso%20de%20corriente%20el%C3%A9ctrica>.
- Sener, E., Davraz, A., & Ozcelik, M. (2005). An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 13(5-6), 826-834.
- Singhal, B., & Gupta, R. (2010). *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Springer.
- Spalding, R. F., & Exner, M. E. (1993). Occurrence of nitrate in groundwater—a review. *Journal of Environmental Quality*, 22(3), 392-402.
- Suñe, E. (Julio de 2021). Clase Magistral Métodos de Campo en Hidrogeología. *Ensayos de Bombeo*. Barcelona, España.
- Tesoriero, A. J., Liebscher, H., & Cox, S. E. (1998). Mechanism and rate of denitrification in an agricultural watershed: Electron and mass balance along groundwater flow paths. *Water Resources Research*, 34(6), 1545-1559.

Theim. (1906). *Hydrologische Methoden*.

Theis. (1935). *The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Groundwater Storage*.

Thornthwaite, C.W. (1948) *An Approach toward a Rational Classification of Climate*. *Geographical Review*, 38, 55-94

UNAH-Miambiente. (2014). *Evaluación de los recursos hídricos en su régimen natural potencial o nivel nacional*. Tegucigalpa: MiAmbiente.

Universidad Politécnica de Cataluña. (2022). *UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Obtenido de Conceptos Básicos: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3407/41239-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

USGS. (15 de Mayo de 2017). *USGS - Water Science School*. Obtenido de <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>

Villanueva Martínez, M., & Iglesias López, A. (1984). *Pozos y Acuíferos Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: IBERGESA.

Vörösmarty, C. J. (2010). *Global threats to human water security and river biodiversity*. *Nature*, 467(7315), 555-561.

World Resources Institute. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water*.

Zebidi, H. (1998). *Water: a looming crisis*. UNESCO, *IHP-V. Techn.Doc.Hydrol No. 18*, 536. Paris .

12. ANEXOS

Anexo 1. Proporción de viviendas que cuenta con agua, Subcuenca del Río Guacerique

Aldea	Sistema Publico	Sistema Privado	Pozo Malacate	Pozo con Bomba	Vertiente, Rio o arroyo	Lago o Laguna	Vendedor o repartidor ambulante	Otro
Amarateca	5.27%	82.91%	1.70%	4.79%	2.24%	0.12%	1.64%	1.33%
Hierbabuena	24.31%	30.07%	7.37%	0.46%	35.14%	0.12%	0.00%	2.53%
San Matías	25.35%	50.54%	13.14%	0.31%	6.49%	0.15%	0.00%	4.02%
Santa Cruz Abajo	2.49%	27.41%	36.14%	12.15%	13.08%	1.56%	6.23%	0.93%
Distrito Central	73.93%	14.78%	2.42%	1.31%	0.58%	0.05%	5.90%	1.02%
Santa Cruz Arriba	8.28%	9.55%	39.49%	11.46%	14.01%	1.27%	3.82%	12.10%
La Cuesta No.2	44.68%	7.94%	22.10%	10.50%	5.46%	0.62%	3.59%	5.18%
Mateo	18.26%	72.61%	5.50%	0.99%	1.43%	0.11%	0.44%	0.66%
Nueva Aldea	7.65%	23.55%	39.76%	11.31%	10.09%	0.00%	2.45%	5.20%
La Brea	77.97%	3.15%	1.75%	0.35%	12.94%	0.70%	1.05%	2.10%
Las Tapias	31.70%	48.23%	1.84%	12.73%	1.96%	0.24%	0.61%	2.82%
La Calera	51.43%	15.87%	7.62%	4.13%	12.70%	0.00%	0.00%	8.25%
Las Casitas								
La Sabana Concepción	63.39%	10.93%	13.11%	0.00%	12.57%	0.00%	0.55%	0.00%
del Río Grande	41.05%	42.36%	13.97%	0.00%	0.87%	0.44%	0.00%	1.31%

Tabla 36. Proporción de viviendas que cuenta con agua de las aldeas que están dentro de la Subcuenca del Río Guacerique.
Fuente: INE 2013.

Anexo 2. Proporción de viviendas que cuenta con sistema de disposición de excretas, Subcuenca del Río Guacerique.

Aldea	Inodoro conectado a red de alcantarillado	Inodoro conectado a pozo séptico	Inodoro con descarga a río, quebrada, laguna, mar o lago	Letrina de pozo simple	Letrina con cierre hidráulico	Otro	No tiene
Amarateca	44.73%	22.85%	0.00%	12.48%	12.24%	0.30%	7.45%
Hierbabuena	0.23%	30.76%	0.00%	24.77%	6.34%	0.12%	37.79%
San Matías	2.16%	49.61%	0.00%	27.98%	6.49%	0.15%	13.60%
Santa Cruz Abajo	26.79%	18.07%	0.00%	42.68%	2.80%	0.00%	9.35%
Distrito Central	77.78%	5.30%	0.01%	14.27%	1.13%	0.63%	0.88%
Santa Cruz Arriba	0.64%	21.02%	0.00%	59.87%	12.74%	0.00%	5.73%
La Cuesta No.2	1.93%	18.85%	0.00%	68.72%	3.94%	0.07%	6.49%
Mateo	9.68%	26.84%	0.00%	52.92%	2.53%	0.00%	8.14%
Nueva Aldea	1.22%	19.57%	0.00%	39.76%	27.83%	0.31%	11.01%
La Brea	6.29%	59.44%	0.00%	13.99%	1.05%	1.05%	18.18%
Las Tapias	33.54%	21.42%	0.00%	41.00%	1.84%	0.12%	2.08%
La Calera	0.32%	34.29%	0.00%	44.76%	5.08%	0.63%	14.92%
Las Casitas							
La Sabana	0.00%	9.29%	0.00%	27.32%	0.55%	0.00%	62.84%
Concepción de Río Grande	52.84%	15.72%	0.00%	17.03%	3.06%	0.00%	11.35%

Tabla 37. Proporción de viviendas que cuenta con sistema de disposición de excretas de las aldeas que están dentro de la Subcuenca del Río Guacerique.

Fuente: INE 2013.

Anexo 3. Datos teóricos de conductividades hidráulicas.

Unidad hidroestratigráfica	K (m/día)
Piroclastos de San Salvador	0.3-1.1
Roca basáltica y andesítica de San Salvador	3.3-29.3
Roca basáltica y andesítica de Cuscatlán	1.3-2.3
Piroclastos de Cuscatlán	0.04-1.2
Roca basáltica y andesítica de Bálamo	2.0

Tabla 38. Conductividad hidráulica de las unidades hidroestratigráficas del acuífero de San Salvador.

Fuente: Barrera de Calderón y Garfias et al (2020).

Roca	K (m/día)
Basalto	5×10^{-5}
Basalto vesicular	1
Escoria	1000
Suelos Derivados	0.08
Fracturas:	
- Verticales Primarias.	0.05
- Verticales Secundarias.	5×10^{-5}
- Horizontal	5
- Otras	0.05
Zona Fracturada:	
- Vesicular	5
- No Vesicular	5

Tabla 39. Conductividad hidráulica Islas Canarias.
Fuente: Custodio (2020).

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena		Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas			
Calificación	Buenos acuíferos				Acuíferos pobres				Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien				Drenan mal			No drenan			

Ilustración 5. Tipo de terreno y permeabilidad para un acuífero poroso, Custodio y Llamas (1986).

Fuente: Custodio y Llamas (1986).

Anexo 5. Perfiles geofísicos

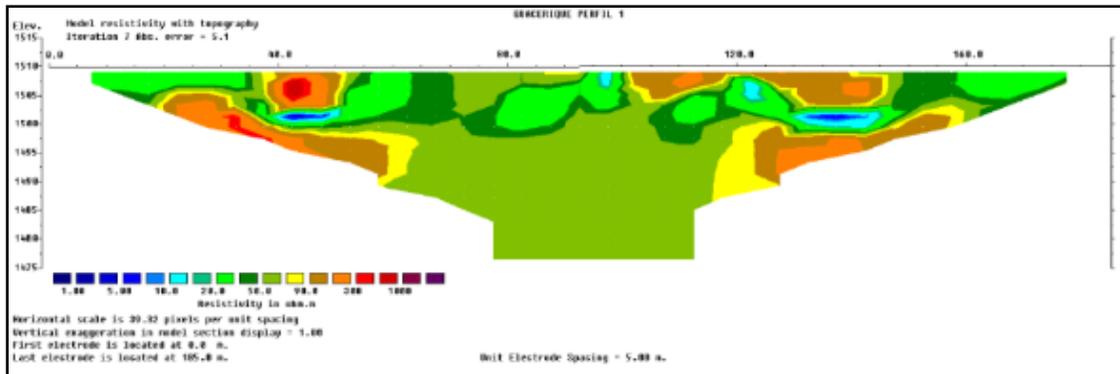


Ilustración 6. Perfil 1: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Laguna del Pedregal.
Fuente: Elaboración propia.

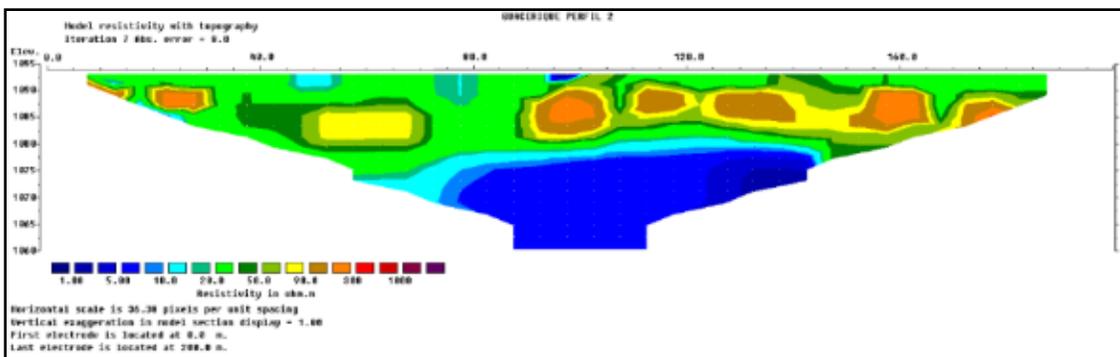


Ilustración 7. Perfil 2: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Ciudad Mateo
Fuente: Elaboración propia.

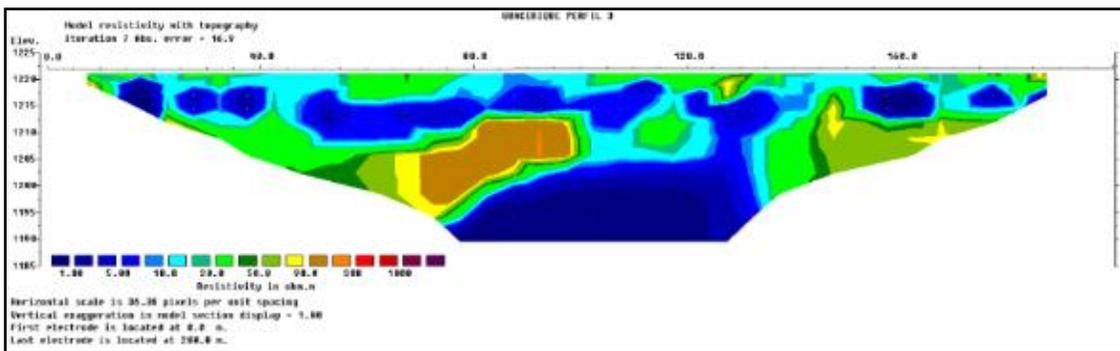


Ilustración 8. Perfil 3: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Tres Pasos.
Fuente: Elaboración propia.

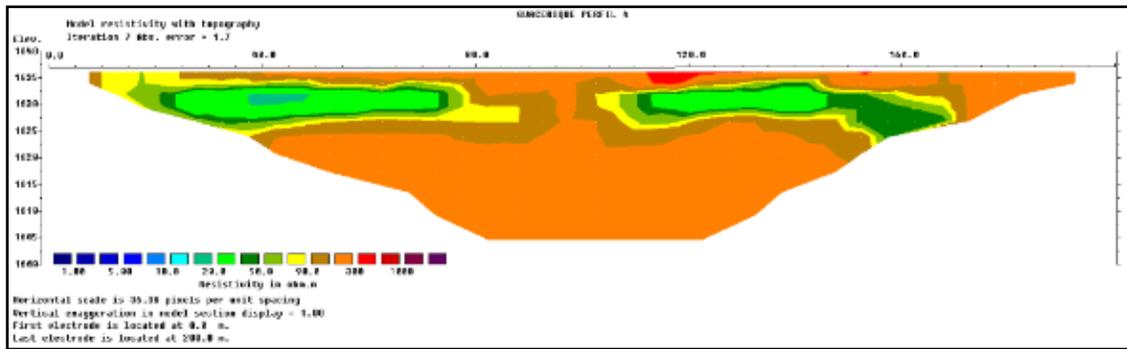


Ilustración 9. Perfil 4: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Upare.
Fuente: Elaboración propia.

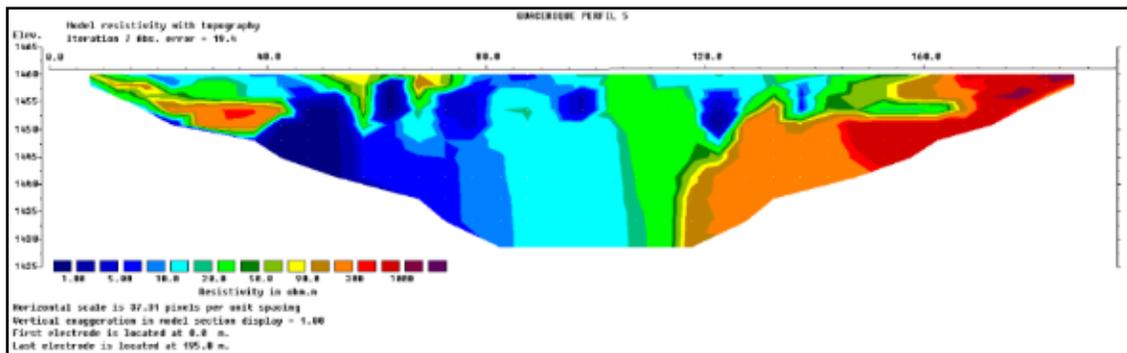


Ilustración 10. Perfil 5: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, La Calera.
Fuente: Elaboración propia.

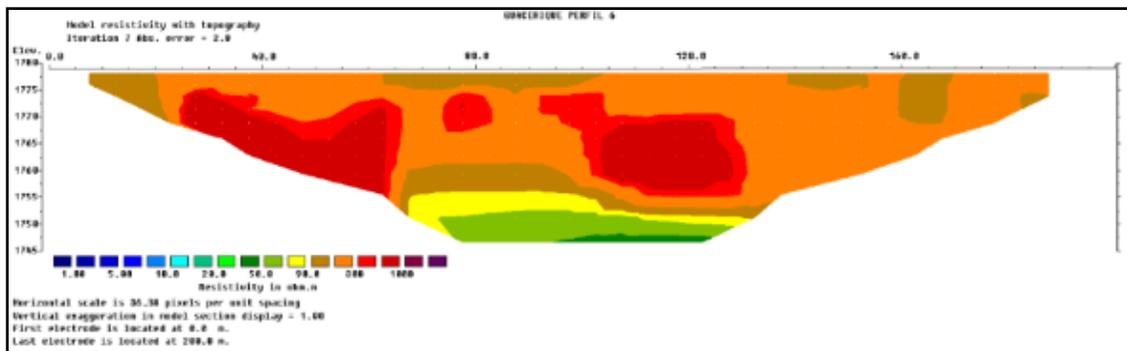


Ilustración 11. Perfil 6: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Tierra Colorada.
Fuente: Elaboración propia.

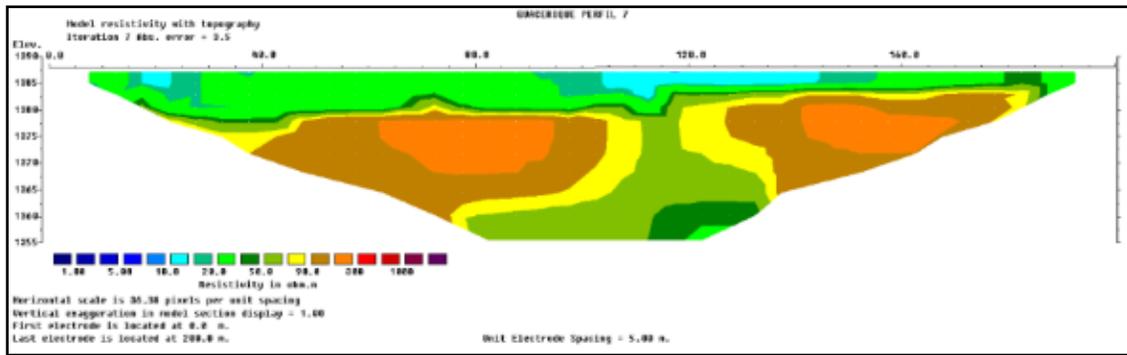


Ilustración 12. Perfil 7: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Quiscamote
Fuente: Elaboración propia.

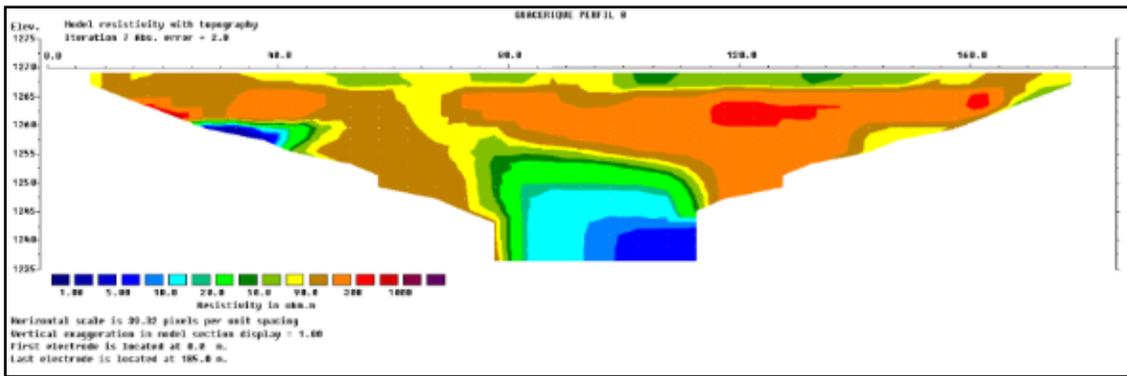


Ilustración 13. Perfil 8: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, El Llano.
Fuente: Elaboración propia.

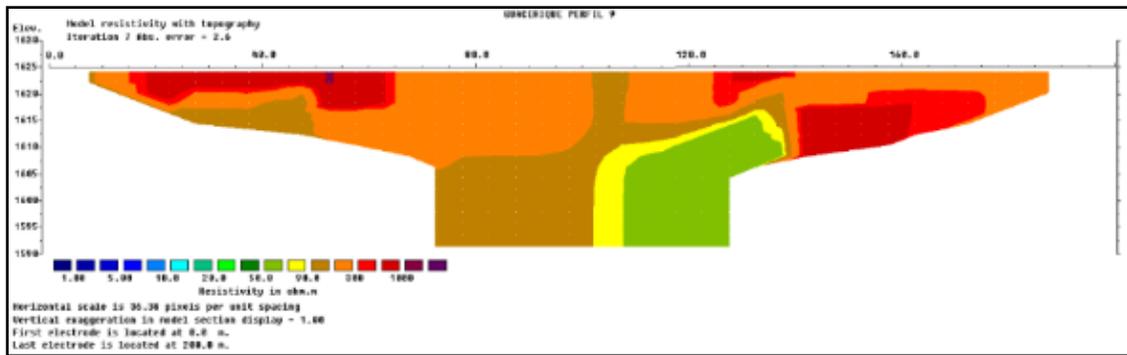


Ilustración 14. Perfil 9: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Rincón de Dolores.
Fuente: Elaboración propia.

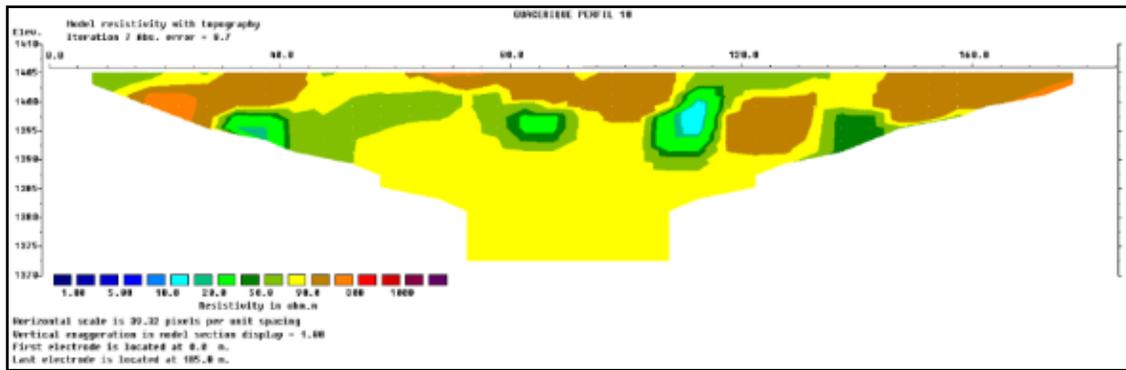


Ilustración 15. Perfil 10: Levantamiento geofísico mediante el método de tomografía eléctrica, Macuelizo.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Precipitaciones

Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional

Agosto				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	29.4	63.2	18.9	49.5
1992	20.7	47.1	25.2	96.3
1993	54.1	120.9	71.7	63.5
1994	25.9	80.2	31.2	37.6
1995	432.9	489.7	475.2	460.2
1996	240.8	245.5	229.3	195.2
1997	67.3	92.2	66	130.7
1998	162.4	135.1	158.5	157.1
1999	153.2	175	201.8	154.9
2000	134.7	174.6	60.3	133
2001	135.1	213	116.7	127.8
2002	20.4	78.9	31.7	52.3
2003	114.3	170.7	112.3	115.1
2004	44	59	47.1	34
2005	103.8	221.4	120	149
2006	26	140.6	50.3	56.7
2007	154.4	213.1	234.7	270.1
2008	177.8	334	178.7	165.3
2009	25.9	118.8	28	42.2
2010	217.5	725.7	336.6	340.2
2011	48.7	213	90	67.6
2012	201	293	288.3	685.2
2013	191.5	245.7	91.5	178.3
2014	125.2	120.1	129.2	104.9
2015	8.6	21.6	24.3	20.5

2016	143.1	176.3	175	207.1
2017	78.3	179.4	98.2	75.4
2018	35.4	118.5	27.5	44.2
2019	28.3	104.1	13	59.5
2020	133.8	205.6	78.5	236.6
2021	104.69	183.97	115.71	130.65
Promedio	111.15	185.805484	120.174516	149.698387
Razón Normal				
Tegucigalpa SMN Agosto 2021			104.693152	

Tabla 40. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de agosto del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Septiembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	83.5	107.7	59.2	99
1992	177.8	300.5	211.2	183.5
1993	164.8	328.1	196	197.5
1994	117.9	255.3	124.7	143.8
1995	153.2	367.8	293.2	208.1
1996	97.4	198.1	94.6	162.5
1997	179.6	200.5	148.6	127.4
1998	76.2	159	149.5	109.3
1999	235.8	592.2	308	274.5
2000	228.9	421.3	328.7	262.8
2001	164.9	298	150.5	178.7
2002	107.7	351.6	220.7	158
2003	106.8	252.1	149.7	123.5
2004	133.8	125.2	174.3	205.5
2005	106.4	341.6	103.1	139
2006	92.4	295.8	117.7	103.9
2007	233.7	311.3	210.8	148.8
2008	180.6	358.6	119.8	203.1
2009	66	122.5	56.5	61.9
2010	232.4	578.1	407.5	252.2
2011	156.8	321.9	167.3	189.6
2012	58.7	145.7	48.8	46.7
2013	343.2	305.8	277.3	226.4
2014	112	295.1	185	103.5
2015	194.2	325	281.3	227
2016	105.9	143.7	96.4	164.5
2017	196.8	317.6	218	169.2
2018	53.3	153.4	80.4	130.9

2019	183.9	121.5	208.2	178.9
2020	215.8	476.5	283.3	261.8
2021	79.67	142.43	99.15	84.96
Promedio	152.01	281.10	179.66	165.37
Razón Normal				
Tegucigalpa SMN Septiembre 2021			79.6718442	

Tabla 41. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de septiembre del año del Año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Octubre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	165.1	235	170.5	146
1992	95.9	80.1	47.6	97
1993	135.4	162.4	90.1	124.2
1994	101.3	192	134.1	134.3
1995	99.3	252	167	149.6
1996	236.6	279.6	218.4	141.7
1997	130.2	138.7	95.4	116.1
1998	498.6	797.9	794.2	354.92
1999	140.5	355	216.8	145.4
2000	71.5	145.5	141.1	70.7
2001	108.4	154.3	66.3	71.2
2002	58.3	99.6	55.8	41.6
2003	100.7	231.6	92.1	154.9
2004	170.2	129.4	115.2	107.5
2005	137.7	264.3	151.8	91.8
2006	115.6	268	131.2	141.6
2007	78.4	264.8	263.6	106.3
2008	259.5	387.7	261.2	228.8
2009	51.9	141.3	80.4	85.6
2010	43.6	62	12.6	14.5
2011	161.6	400.1	207.9	165.2
2012	182.4	335.1	183	202
2013	105	190.5	91.6	152.6
2014	139.1	282.7	177.3	192.4
2015	195.6	261.7	151.7	170.6
2016	280.7	242	254.4	221.8
2017	286.2	246.6	271.6	210.1
2018	276.3	396.2	337.7	294.7
2019	101.2	254.7	146.2	94.7
2020	226.4	181.5	193.1	137.8
2021	123.22	184.82	141.22	112.57
Promedio	158.44	245.71	176.17	144.46

Razón Normal	
Tegucigalpa SMN Octubre 2021	123.22

Tabla 42. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de octubre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Noviembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	3.2	11.5	5.9	8.6
1992	6	62.7	9.7	25.5
1993	14.8	25.1	7.1	13.6
1994	30	65.3	25.2	23.8
1995	20.5	26.5	9.4	14.9
1996	30.5	47	30.9	41.6
1997	68.9	61.6	45.9	67.1
1998	43.5	107.7	65.4	46.15
1999	12.2	10.5	8.4	12
2000	9.1	8	0	7.5
2001	8	3.5	5.1	8
2002	9.5	14	9.2	13.6
2003	51.1	31.6	25.6	50.7
2004	24.2	49.8	28.8	34.4
2005	17.4	25.7	12.7	11.1
2006	112.5	92.9	81.7	83
2007	7.3	105	26.3	32.7
2008	16.8	15.2	14.5	13.4
2009	46.8	142.3	59.5	56.3
2010	24.4	21.5	6.8	10.6
2011	44.1	56.9	29	44.8
2012	13.9	17.3	7	2.3
2013	30.5	50	18.8	35.1
2014	18.6	26.2	21.7	17.7
2015	53.6	48.5	66	55.2
2016	13.2	37.4	22.2	7.7
2017	18.9	17.5	14.7	46.5
2018	7.3	5.7	3.9	13.1
2019	18.1	23.9	9.1	15
2020	237.6	374.3	319.5	222.6
2021	12.83	15.97	14.23	13.24
Promedio	33.75	51.65	32.40	33.80
Razón Normal				
Tegucigalpa SMN Noviembre 2021	12.83			

Tabla 43. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de noviembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Diciembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	34	37.1	18.6	23
1992	14.3	15.9	12.7	12.2
1993	10.8	15.5	5.5	5.3
1994	8.9	12.8	7	7.8
1995	22.1	17.8	14.4	12.1
1996	0	6.5	0.5	1
1997	0	0	0.1	0
1998	1.1	22	1.4	2.5
1999	3.5	23.7	17.6	5.8
2000	8.9	5.5	3	10.5
2001	12	0.2	4.9	5.3
2002	15.9	1	0	19.5
2003	1.4	2.3	0.2	0.3
2004	9.5	6.8	0	8.7
2005	6.4	73.7	6.7	1.9
2006	27.9	90.8	30.8	21
2007	1.4	9.8	0	0
2008	3.1	24.8	1.7	5
2009	37.9	72.3	45.7	31.9
2010	0	1	0	0
2011	1.6	11.6	0.4	1.7
2012	5.9	36.7	2.3	0
2013	10	19.4	6.6	31.4
2014	5.3	15.9	3.7	15.9
2015	76.5	9.5	33	6.6
2016	17.7	47.9	23.9	13
2017	4.9	21.4	13.6	16.9
2018	1.6	7.7	1.2	3
2019	0.8	0.5	0	0
2020	1	8	3.2	1
2021	7.03	12.19	6.81	3.82
Promedio	11.48	20.34	8.56	8.62
Razón Normal				
Tegucigalpa SMN Noviembre 2021			7.03334469	

Tabla 44. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal mes de diciembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Quiebramontes

1990				
Años	SMN	Quiebramontes	Concepción	Batallón
1990	674.5	873.3308415	710.5	890.9
1991	595.4	768.67	598.6	685.7
1992	728.4	963.2	957.3	901.1
1993	949.3	1064.6	1156.3	1088
1994	564.3	807.6	745.1	704.8
1995	1146.3	1616.9	1477.1	1318.3
1996	889.3	930.3	888.2	896.4
1997	835.3	1027.45	846.03	801.8
1998	1180	1138.98	1594.24	1051.37
1999	885.6	1294.75	1070	1030.5
2000	791.3	1020.09	1011.04	863.9
2001	726.6	901.97	780.2	685.2
2002	614.5	824	784.3	712.8
2003	985	1121.3	864.7	1056.4
2004	756.6	786.1	747.1	758.5
2005	1091.2	1120.2	1226.8	1216.6
2006	754	1251.4	991.2	937.1
2007	833.4	1253.16	1108.1	913.4
2008	1014.6	1131.7	1023.3	1023.2
2009	842.2	952.2	754.4	844.4
2010	1399.1	1805.2	1954.8	1508.1
2011	1062.2	1371.2	1128.7	1066.5
2012	917	1394.6	1153.8	1423
2013	1191.1	1256.2	950.7	1012.7
2014	644.4	838.9	868.6	825.9
2015	914.4	938.7	1028.5	934.7
2016	1007.7	1204.1	1080.2	1107.3
2017	972.5	1033.9	916.9	895.7
2018	749.7	968.48	999.2	873.2
Promedio	886.76	1099.50	1014.34	966.46
Razón Normal				
Quiebramontes 1990			873.3308415	

Tabla 45. Estación Quiebramontes, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 1990.

Fuente: Elaboración propia.

2019				
Años	SMN	Quiebramontes	Concepción	Batallón
1990	674.5	873.33	710.5	890.9
1991	595.4	768.67	598.6	685.7
1992	728.4	963.2	957.3	901.1
1993	949.3	1064.6	1156.3	1088
1994	564.3	807.6	745.1	704.8
1995	1146.3	1616.9	1477.1	1318.3
1996	889.3	930.3	888.2	896.4
1997	835.3	1027.45	846.03	801.8
1998	1180	1138.98	1594.24	1051.37
1999	885.6	1294.75	1070	1030.5
2000	791.3	1020.09	1011.04	863.9
2001	726.6	901.97	780.2	685.2
2002	614.5	824	784.3	712.8
2003	985	1121.3	864.7	1056.4
2004	756.6	786.1	747.1	758.5
2005	1091.2	1120.2	1226.8	1216.6
2006	754	1251.4	991.2	937.1
2007	833.4	1253.16	1108.1	913.4
2008	1014.6	1131.7	1023.3	1023.2
2009	842.2	952.2	754.4	844.4
2010	1399.1	1805.2	1954.8	1508.1
2011	1062.2	1371.2	1128.7	1066.5
2012	917	1394.6	1153.8	1423
2013	1191.1	1256.2	950.7	1012.7
2014	644.4	838.9	868.6	825.9
2015	914.4	938.7	1028.5	934.7
2016	1007.7	1204.1	1080.2	1107.3
2017	972.5	1033.9	916.9	895.7
2018	749.7	968.48	999.2	873.2
2019	649.7	799.24	656.6	769.9
Promedio	878.85	1091.70	1002.42	959.91
Razón Normal				
Quiebramontes 2019			799.24	

Tabla 46. Estación Quiebramontes, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 2019.

Fuente: Elaboración propia.

2020				
Años	SMN	Quiebramontes	Concepción	Batallón
1990	674.5	873.33	710.5	890.9
1991	595.4	768.67	598.6	685.7
1992	728.4	963.2	957.3	901.1
1993	949.3	1064.6	1156.3	1088
1994	564.3	807.6	745.1	704.8
1995	1146.3	1616.9	1477.1	1318.3
1996	889.3	930.3	888.2	896.4
1997	835.3	1027.45	846.03	801.8
1998	1180	1138.98	1594.24	1051.37
1999	885.6	1294.75	1070	1030.5
2000	791.3	1020.09	1011.04	863.9
2001	726.6	901.97	780.2	685.2
2002	614.5	824	784.3	712.8
2003	985	1121.3	864.7	1056.4
2004	756.6	786.1	747.1	758.5
2005	1091.2	1120.2	1226.8	1216.6
2006	754	1251.4	991.2	937.1
2007	833.4	1253.16	1108.1	913.4
2008	1014.6	1131.7	1023.3	1023.2
2009	842.2	952.2	754.4	844.4
2010	1399.1	1805.2	1954.8	1508.1
2011	1062.2	1371.2	1128.7	1066.5
2012	917	1394.6	1153.8	1423
2013	1191.1	1256.2	950.7	1012.7
2014	644.4	838.9	868.6	825.9
2015	914.4	938.7	1028.5	934.7
2016	1007.7	1204.1	1080.2	1107.3
2017	972.5	1033.9	916.9	895.7
2018	749.7	968.48	999.2	873.2
2019	649.7	799.24	656.6	769.9
2020	1277.39	1483.51	1332.7	1326.85
Promedio	891.7093548	1081.947333	1013.07129	971.749032
Razón Normal				
Quiebramontes 2020			1483.511205	

Tabla 47. Estación Quiebramontes relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 2020.

Fuente: Elaboración propia.

2021				
Años	SMN	Quiebramontes	Concepción	Batallón
1990	674.5	873.33	710.5	890.9
1991	595.4	768.67	598.6	685.7
1992	728.4	963.2	957.3	901.1
1993	949.3	1064.6	1156.3	1088
1994	564.3	807.6	745.1	704.8
1995	1146.3	1616.9	1477.1	1318.3
1996	889.3	930.3	888.2	896.4
1997	835.3	1027.45	846.03	801.8
1998	1180	1138.98	1594.24	1051.37
1999	885.6	1294.75	1070	1030.5
2000	791.3	1020.09	1011.04	863.9
2001	726.6	901.97	780.2	685.2
2002	614.5	824	784.3	712.8
2003	985	1121.3	864.7	1056.4
2004	756.6	786.1	747.1	758.5
2005	1091.2	1120.2	1226.8	1216.6
2006	754	1251.4	991.2	937.1
2007	833.4	1253.16	1108.1	913.4
2008	1014.6	1131.7	1023.3	1023.2
2009	842.2	952.2	754.4	844.4
2010	1399.1	1805.2	1954.8	1508.1
2011	1062.2	1371.2	1128.7	1066.5
2012	917	1394.6	1153.8	1423
2013	1191.1	1256.2	950.7	1012.7
2014	644.4	838.9	868.6	825.9
2015	914.4	938.7	1028.5	934.7
2016	1007.7	1204.1	1080.2	1107.3
2017	972.5	1033.9	916.9	895.7
2018	749.7	968.48	999.2	873.2
2019	649.7	799.24	656.6	769.9
2020	1277.39	1483.51	1332.7	1326.85
2021	749.4	784.98	690.61	618.12
Promedio	887.262188	1081.94733	1002.99438	960.698125
Razón Normal				
Quiebramontes 2021				784.980208

Tabla 48. Estación Quiebramontes, relleno de datos de precipitaciones, método de la razón normal año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Temperaturas máximas

Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional

Agosto				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	29.67	30.09	30.5	29.77
1992	29.46	28.9	29.29	28.53
1993	28	28.38	28.6	27.73
1994	29.77	30.11	30.5	29.82
1995	29.76	27.94	28.35	27.96
1996	28.38	27.96	28.25	27.56
1997	29.89	30.02	30.27	29.24
1998	29.62	29.67	30.2	29.59
1999	29.41	28.54	28.99	28.42
2000	28.62	28.69	29.18	28.41
2001	29.5	29.79	30.27	29.51
2002	29.05	29.57	29.66	28.76
2003	28.36	29.36	29.69	28.93
2004	30.02	30.08	30.71	30.1
2005	28.91	28.89	29.21	28.54
2006	29.28	29.39	29.79	29.09
2007	29.21	28.53	28.88	28.4
2008	28.85	28.5	28.94	28.43
2009	28.92	29.56	29.88	29.07
2010	28.78	28.19	28.56	28.04
2011	29.15	28.73	29.06	28.53
2012	29.24	28.98	29.41	28.78
2013	29	29.03	29.43	28.73
2014	30.09	30.1	30.57	29.88
2015	30.81	31.83	31.95	30.96
2016	29.63	29.68	30.11	29.47
2017	29.78	29.05	29.44	28.75
2018	28.26	29.64	29.8	28.93
2019	30.18	30.68	31.16	30.55
2020	29.03	29.09	29.46	28.82
2021	29.33	29.23	29.73	29.12
Promedio	29.29	29.30	29.67	28.98
Meses			Razón Normal	
Tegucigalpa SMN Agosto 2021			29.33	

Tabla 49. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de agosto del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Septiembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	29.92	29.44	29.91	29.26
1992	28.58	28.74	29.19	28.58
1993	27.89	27.95	28.29	27.66
1994	29.15	29.3	29.71	29.08
1995	28.67	28.27	28.62	28.1
1996	29.68	29.05	29.49	29.01
1997	29.58	29.38	29.87	29.23
1998	29.22	28.51	29.03	28.78
1999	28.53	27.42	27.86	27.49
2000	28.8	28.11	28.6	28.16
2001	28.12	28.11	28.57	28.05
2002	29.18	28.59	29.12	28.68
2003	29.23	29.09	29.64	29.13
2004	30.44	29.23	29.72	29.42
2005	28.35	28.93	29.23	28.61
2006	30.02	29.25	29.76	29.2
2007	28.51	28.39	28.76	28.17
2008	29.03	28.61	29.08	28.68
2009	30.03	29.95	30.4	29.77
2010	27.67	28.04	28.45	28.06
2011	29.3	28.62	29.01	28.48
2012	28.89	29.16	29.54	28.87
2013	28.79	28.47	28.91	28.46
2014	28.33	28.54	28.97	28.4
2015	29.83	30.3	30.75	30.08
2016	29.23	29.36	29.76	29.1
2017	29.56	29.19	29.65	29.18
2018	28.85	29.6	29.95	29.3
2019	30.21	30.57	31.24	30.84
2020	29.87	29.16	29.66	29.17
2021	29.49	29.27	29.77	29.25
Promedio	29.12	28.92	29.37	28.85
Meses			Razón Normal	
Tegucigalpa SMN Septiembre 2021			29.49	

Tabla 50. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de septiembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Octubre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	28.01	27.3	27.7	27.12
1992	28.2	28.58	28.96	28.23
1993	28.13	27.76	28.02	27.32
1994	28.55	27.56	27.98	27.45
1995	28.2	27.24	27.6	27.08
1996	28.32	27.49	27.84	27.23
1997	27.91	27.72	28.04	27.34
1998	26.85	27.42	27.78	27.22
1999	27.09	26.04	26.48	25.88
2000	27.2	27.15	27.54	26.71
2001	27.22	27.78	28.19	27.42
2002	28.22	28.23	28.54	27.85
2003	28.49	28.11	28.6	27.97
2004	28.69	28.47	28.95	28.39
2005	26.23	26.4	26.87	26.32
2006	29.03	28.43	28.95	28.38
2007	27.93	26.42	26.87	26.36
2008	26.09	26.76	27.16	26.5
2009	28.59	28.58	28.96	28.3
2010	26.52	27.05	27.51	26.61
2011	25.75	26.02	26.45	25.82
2012	28.02	27.8	28.31	27.6
2013	28.65	28.34	28.69	28.09
2014	27.26	27.46	27.79	27.16
2015	29.12	28.63	28.99	28.4
2016	27.62	28.28	28.78	28.05
2017	26.44	27.57	27.9	27.25
2018	26.37	27.69	28	27.4
2019	27.47	27.92	28.3	27.8
2020	28.48	27.68	28.08	27.48
2021	29.06	28.87	29.42	28.92
Promedio	27.69	27.64	28.04	27.41
Meses			Razón Normal	
Tegucigalpa SMN Octubre 2021			29.0633145	

Tabla 51. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de octubre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Noviembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	26.54	26.67	27.17	26.24
1992	28.17	28.2	28.84	28.18
1993	27.04	26.28	26.62	25.62
1994	27.19	26.92	27.46	26.68
1995	26.72	27	27.19	26.27
1996	25.48	25.49	25.88	25.01
1997	27.02	27.41	27.7	26.91
1998	26.25	26.39	26.62	25.82
1999	25.19	24.27	24.77	23.79
2000	27.31	27.59	27.95	27.14
2001	26.8	25.73	26.27	25.36
2002	26.21	26.66	27.21	26.33
2003	26.91	26.87	27.36	26.49
2004	26.57	26.78	27.32	26.45
2005	25.7	25.34	25.79	24.84
2006	26.23	25.68	26.21	25.38
2007	24.65	25.35	25.76	24.73
2008	24.92	24.63	25.11	24.06
2009	26.41	26.53	27.08	26.26
2010	26.05	25.74	26.02	25.13
2011	26.29	26.17	26.55	25.6
2012	25.52	25.57	26.28	25.18
2013	27.05	26.84	27.36	26.59
2014	26.01	25.78	26.25	25.26
2015	27.42	27.65	27.98	27.21
2016	25.89	26.56	27.06	26.15
2017	25.12	26.26	26.68	25.66
2018	26.76	27.75	28.07	27.17
2019	25.54	27.71	28.17	27.25
2020	25.95	26.42	26.78	26.1
2021	26.95	26.89	27.67	26.71
Promedio	26.30	26.42	26.88	25.99
Meses			Razón Normal	
Tegucigalpa SMN Noviembre 2021			26.954621	

Tabla 52. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de noviembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Diciembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	25.96	26.45	26.82	25.81
1992	26.59	27.15	27.75	26.78
1993	26.82	26.26	26.55	25.48
1994	27.35	27.59	28.21	27.24
1995	26.69	27.1	27.34	26.34
1996	26.51	26.19	26.29	25.27
1997	27.2	26.5	26.93	25.95
1998	25.79	25.82	26.06	24.95
1999	26.27	25.05	25.49	24.42
2000	25.27	25.78	26.43	25.23
2001	27.14	27.42	28	26.95
2002	27.06	27.66	28.22	27.25
2003	25.15	24.52	25.23	24.09
2004	25.75	26.36	27.12	26.03
2005	26.74	26.63	26.97	25.91
2006	25.95	27	27.6	26.57
2007	26.33	26.01	26.32	25.21
2008	25.01	26.03	26.35	25.15
2009	27.1	27.61	28.13	27.19
2010	25.73	24.56	24.96	23.87
2011	25.47	25.78	26.09	24.94
2012	27.49	27.17	27.72	26.71
2013	26.29	26.6	26.99	25.98
2014	26.29	26.02	26.48	25.32
2015	27.71	27.85	28.24	27.26
2016	25.98	26.84	27.2	26.22
2017	23.43	25.67	25.93	24.74
2018	25.26	26.59	26.94	25.87
2019	25.69	27.35	27.94	26.85
2020	25.45	25.64	25.9	24.92
2021	27.36	27.62	28.12	27.07
Promedio	26.18	26.48	26.91	25.86
Meses			Razón Normal	
Tegucigalpa SMN Noviembre 2021			27.3593381	

Tabla 53. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas máximas, método de la razón normal mes de diciembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Temperatura mínima.

Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional

Agosto				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	17.66	21.56	21.85	21.31
1992	16.81	20.74	21.02	20.46
1993	18.06	20.43	20.6	19.97
1994	17.22	21.56	21.84	21.34
1995	18.14	20.1	20.41	20.12
1996	16.92	20.1	20.31	19.8
1997	18.58	21.59	21.78	21.03
1998	17.95	21.31	21.68	21.23
1999	17.45	20.5	20.84	20.41
2000	17.95	20.61	20.97	20.4
2001	18.25	21.4	21.74	21.19
2002	18.11	21.22	21.29	20.63
2003	17.65	21.1	21.33	20.77
2004	17.81	21.56	22.01	21.55
2005	18.6	20.79	21.03	20.54
2006	18.15	21.14	21.42	20.91
2007	17.27	20.51	20.78	20.41
2008	17.69	20.47	20.8	20.41
2009	18.25	21.26	21.5	20.91
2010	18.48	20.28	20.56	20.18
2011	17.99	20.66	20.91	20.52
2012	17.85	20.82	21.14	20.68
2013	17.51	20.84	21.13	20.62
2014	18.64	21.57	21.91	21.4
2015	18.801	22.77	22.87	22.15
2016	18.96	21.33	21.65	21.17
2017	18.21	20.89	21.18	20.67
2018	17.55	21.28	21.41	20.78
2019	17.76	21.97	22.33	21.88
2020	18.95	20.91	21.19	20.72
2021	18.01	21.01	21.38	20.92
Promedio	17.9740333	21.0412903	21.3180645	20.8090323
Meses		Razón Normal		
Tegucigalpa SMN Agosto 2021		18.0144802		

Tabla 54. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de agosto del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Septiembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	17.73	20.84	21.17	20.7
1992	17.44	20.34	20.66	20.21
1993	17.1	19.83	20.08	19.63
1994	17.54	20.75	21.05	20.58
1995	17.93	20.07	20.33	19.95
1996	16.9	20.56	20.89	20.53
1997	17.71	20.84	21.19	20.72
1998	17.97	20.23	20.62	20.41
1999	17.97	19.45	19.79	19.5
2000	17.64	19.9	20.27	19.94
2001	17.27	19.91	20.24	19.85
2002	17.71	20.25	20.65	20.32
2003	17.38	20.59	21	20.62
2004	17.83	20.67	21.04	20.8
2005	18.32	20.53	20.76	20.31
2006	17.44	20.71	21.07	20.66
2007	17.73	20.13	20.4	19.97
2008	18.26	20.27	20.62	20.32
2009	17.52	21.21	21.53	21.07
2010	18.45	19.91	20.22	19.93
2011	17.91	20.28	20.57	20.19
2012	17.28	20.63	20.91	20.42
2013	18.13	20.18	20.5	20.17
2014	18.28	20.21	20.53	20.12
2015	19.04	21.44	21.77	21.29
2016	18.87	20.81	21.11	20.63
2017	18.32	20.71	21.05	20.7
2018	17.23	20.97	21.23	20.76
2019	17.28	21.61	22.09	21.79
2020	18.41	20.64	21.01	20.66
2021	18.05	20.73	21.09	20.71
Promedio	17.8196667	20.4903226	20.8206452	20.4341935

Meses	Razón Normal
Tegucigalpa SMN Septiembre 2021	18.0461624

Tabla 55. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de septiembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Octubre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	16.95	19.66	19.95	19.52
1992	16.25	20.54	20.81	20.27
1993	17.36	20.03	20.22	19.71
1994	17.04	19.81	20.13	19.74
1995	17.55	19.7	19.97	19.58
1996	17.34	19.86	20.11	19.66
1997	17.52	20.01	20.26	19.74
1998	18.73	19.84	20.1	19.69
1999	16.76	18.8	19.12	18.67
2000	17.66	19.59	19.86	19.27
2001	17.93	20.06	20.35	19.79
2002	17.47	20.34	20.57	20.05
2003	17.85	20.3	20.65	20.19
2004	17.97	20.51	20.86	20.44
2005	17.44	19.1	19.44	19.04
2006	18.04	20.52	20.89	20.47
2007	16.71	19.07	19.4	19.02
2008	18.28	19.36	19.65	19.17
2009	16.9	20.54	20.82	20.33
2010	16.77	19.51	19.84	19.18
2011	17.6	18.81	19.12	18.65
2012	16.98	20.02	20.39	19.86
2013	18.06	20.43	20.69	20.25
2014	18.16	19.84	20.08	19.61
2015	18.84	20.68	20.95	20.5
2016	18.54	20.4	20.76	20.22
2017	18.45	19.95	20.2	19.73
2018	17.28	20.01	20.24	19.79
2019	16.76	20.12	20.41	20.03
2020	18.49	20.01	20.3	19.85
2021	18.42	20.79	21.19	20.8
Promedio	17.5893333	19.9422581	20.2364516	19.7683871
Meses		Razón Normal		
Tegucigalpa SMN Octubre 2021		18.4208113		

Tabla 56. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de octubre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Noviembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	16.19	19.54	19.9	19.21
1992	15.81	20.61	21.07	20.57
1993	15.6	19.28	19.52	18.79
1994	15.65	19.73	20.11	19.53
1995	16.39	19.85	19.98	19.31
1996	15.67	18.77	19.05	18.41
1997	17.24	20.18	20.4	19.81
1998	17.68	19.44	19.6	19.01
1999	14.49	17.79	18.14	17.42
2000	16.29	20.22	20.48	19.87
2001	15.71	18.87	19.26	18.58
2002	16.47	19.53	19.93	19.27
2003	17.17	19.77	20.11	19.47
2004	16.02	19.63	20.01	19.37
2005	16.13	18.62	18.96	18.26
2006	15.59	18.84	19.22	18.6
2007	16.06	18.66	18.95	18.2
2008	14.58	18.01	18.37	17.59
2009	16.37	19.47	19.87	19.25
2010	14.56	18.84	19.04	18.38
2011	15.97	19.2	19.46	18.76
2012	15.51	18.76	19.25	18.44
2013	17.12	19.72	20.09	19.52
2014	16.89	18.97	19.3	18.57
2015	18.36	20.37	20.61	20.04
2016	17.79	19.53	19.89	19.23
2017	15.6	19.29	19.59	18.85
2018	15.96	20.34	20.58	19.9
2019	16.37	20.36	20.68	20
2020	18.33	19.5	19.77	19.26
2021	16.65	19.74	20.29	19.58
Promedio	16.2523333	19.4009677	19.7251613	19.066129
Meses		Razón Normal		
Tegucigalpa SMN Noviembre 2021		16.6481453		

Tabla 57. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de noviembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Diciembre				
Años	SMN	La Brea	Concepción	Batallón
1991	15.64	19.31	19.57	18.83
1992	15.55	19.77	20.2	19.48
1993	13.8	19.11	19.31	18.53
1994	15.03	20.08	20.52	19.79
1995	16.28	19.81	19.98	19.25
1996	13.84	19.09	19.15	18.4
1997	13.65	19.19	19.51	18.79
1998	15.54	18.88	19.04	18.23
1999	14.49	18.26	18.57	17.79
2000	16	18.83	19.28	18.4
2001	16.08	20.01	20.41	19.64
2002	16.13	20.17	20.58	19.86
2003	14.86	17.93	18.43	17.6
2004	15.51	19.19	19.72	18.92
2005	15.65	19.44	19.68	18.91
2006	16.27	19.76	20.19	19.43
2007	13.87	18.91	19.13	18.32
2008	15.48	18.98	19.21	18.34
2009	15.54	20.05	20.43	19.73
2010	13.55	17.79	18.09	17.29
2011	15.18	18.81	19.03	18.2
2012	14.76	19.75	20.15	19.4
2013	16.22	19.46	19.74	18.99
2014	15.39	19	19.32	18.47
2015	17.75	20.4	20.69	19.97
2016	17.3	19.66	19.92	19.2
2017	15.86	18.81	19	18.13
2018	14.32	19.33	19.59	18.79
2019	14.23	19.93	20.35	19.54
2020	16.57	18.75	18.94	18.21
2021	15.99	20.1	20.46	19.67
Promedio	15.3446667	19.3083871	19.6190323	18.8419355
Meses		Razón Normal		
Tegucigalpa SMN Diciembre 2021		15.998407		

Tabla 58. Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional, relleno de datos de temperaturas mínimas, método de la razón normal mes de diciembre del año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. Serie de Tiempo de Precipitaciones

PRECIPITACION MENSUAL EN MM														
Nombre de Estación:	Batallón			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:				
Código				Long.	X	472275	Tipo:	DEPARTAMENTO:						
Organización:	SANAA			Lat.	Y	1555105								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	Tot Anual
1989	5.01	3.49	6.07	32.97	117.53	117.15	80.28	152.91	307.09	76.4	31.8	0	77.5583333	930.7
1990	3.2	0.5	32.6	12.4	202.5	123.8	39	58.4	198.4	75.1	134.2	10.8	74.2416667	890.9
1991	4.5	0	0	4.7	179.9	154.6	15.9	49.5	99	146	8.6	23	57.1416667	685.7
1992	7.6	0.4	31.8	58.3	95.5	226.5	66.5	96.3	183.5	97	25.5	12.2	75.0916667	901.1
1993	7.3	0	8	63	313.1	226.4	66.1	63.5	197.5	124.2	13.6	5.3	90.6666667	1088
1994	2.2	3.9	0	42.6	228.2	40.8	39.8	37.6	143.8	134.3	23.8	7.8	58.7333333	704.8
1995	0.4	0.2	12.9	88.8	74	157.5	139.6	460.2	208.1	149.6	14.9	12.1	109.8583333	1318.3
1996	2.5	2.6	13.8	45.2	114.1	46	130.2	195.2	162.5	141.7	41.6	1	74.7	896.4
1997	3.2	1	6.9	18.8	65.2	211.8	53.6	130.7	127.4	116.1	67.1	0	66.8166667	801.8
1998	0	0	10.1	0.6	155.5	82.2	133	157.1	109.3	354.92	46.15	2.5	87.6141667	1051.37
1999	6.9	4.7	1.6	47.6	68.3	195.5	113.3	154.9	274.5	145.4	12	5.8	85.875	1030.5
2000	6.9	0	0	27.7	152.8	81.6	110.4	133	262.8	70.7	7.5	10.5	71.9916667	863.9
2001	4	0	6.5	11	204.8	13	54.9	127.8	178.7	71.2	8	5.3	57.1	685.2
2002	0.5	7	0	0	153.7	199.7	66.9	52.3	158	41.6	13.6	19.5	59.4	712.8
2003	0.2	0	18.3	19.2	261.9	227.2	85.1	115.1	123.5	154.9	50.7	0.3	88.0333333	1056.4
2004	4.1	16.7	0.2	109.2	74.2	58.1	105.9	34	205.5	107.5	34.4	8.7	63.2083333	758.5
2005	0	2.5	36.6	50.1	256.6	251.1	226.9	149	139	91.8	11.1	1.9	101.3833333	1216.6
2006	10	0.5	0	68	110	230.9	111.5	56.7	103.9	141.6	83	21	78.0916667	937.1
2007	2.2	1.9	15.5	80.5	72.1	148.5	34.8	270.1	148.8	106.3	32.7	0	87.1166667	913.4
2008	2.3	27.2	1.8	27.9	106.7	85	156.7	165.3	203.1	228.8	13.4	5	85.2666667	1023.2
2009	23.9	2.3	2.9	7	191.3	250.2	88.9	42.2	61.9	85.6	56.3	31.9	70.3666667	844.4
2010	3.2	5.8	0	192.4	314.1	145.8	229.3	340.2	252.2	14.5	10.6	0	125.675	1508.1
2011	2.2	2.8	2.8	59	174.2	190.9	165.7	67.6	189.6	165.2	44.8	1.7	88.875	1066.5
2012	0.1	4	2	139.5	225.4	92.6	23.2	685.2	46.7	202	2.3	0	118.5833333	1423
2013	5.6	0	14.2	25.4	160.8	121.7	61.2	178.3	226.4	152.6	35.1	31.4	84.3916667	1012.7
2014	7	2.3	14.9	71.1	97.7	169.8	28.7	104.9	103.5	192.4	17.7	15.9	68.825	825.9
2015	1.1	1.3	4.5	58.5	45.9	316.5	27	20.5	227	170.6	55.2	6.6	77.8916667	934.7
2016	0	0	32.4	10.8	206.7	165.5	77.8	207.1	164.5	221.8	7.7	13	92.275	1107.3
2017	1.9	0	0.2	106	96.1	112.7	60.7	75.4	169.2	210.1	46.5	16.9	74.6416667	895.7
2018	0.8	4.9	3.3	58.9	157.4	132.9	29.1	44.2	130.9	294.7	13.1	3	72.7666667	873.2
2019	13	1.8	0	100.1	122.6	162.5	21.8	59.5	178.9	94.7	15	0	64.1583333	769.9
2020	5.3	1.35	0.2	0.6	266.2	116.3	77.1	236.6	261.8	137.8	222.6	1	110.5708333	1326.85
2021	3.2	0.5	3.3	38.2	14.3	134.75	78.63	130.65	84.96	112.57	13.24	3.82	51.51	618.12
2022														
TOTAL	140.3	99.6	283.4	1676.1	5079.3	4989.5	2799.5	4852.0	5632.0	4629.7	1213.8	277.9	2510.4	30124.2
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Máximo	23.9	27.2	36.6	192.4	314.1	316.5	229.3	685.2	274.5	354.9	222.6	31.9	125.7	1508.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	13.0	15.9	20.5	46.7	14.5	2.3	0.0	51.5	618.1
MEDIA	4.2	3.1	8.7	51.3	155.1	152.3	85.0	146.8	166.4	142.3	36.9	8.7	80.1	960.7
DESVEST	4.782	5.488	10.984	44.193	78.106	70.533	55.561	137.368	58.556	69.634	43.665	8.986	18.244	218.934
CURTOSIS	8.625	13.060	1.047	2.072	-0.615	-0.318	0.921	7.311	-0.533	2.004	10.593	0.841	0.313	0.313
SESGO	2.522	3.431	1.427	1.262	0.345	0.100	1.085	2.449	-0.041	1.040	2.966	1.199	0.797	0.797
													Promedio	959.789091

Ilustración 16. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Batallón.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM																
Nombre de Estación:		Concepción			Coordenadas GEO.			UTM		Elevación:		msnm			CUENCA:	
Código			Long.		X	471171	Y	1546175	Tipo:			DEPARTAMENTO:				
Organización:	SANAA			Lat.												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual	Tot Anual		
1990	0.5	4.8	22.8	20.8	114.4	127.4	28.1	84.9	117.6	54.1	125.4	9.7	59.2083333	710.5		
1991	3.9	0.2	0.2	18.5	143.5	145.1	14.1	18.9	59.2	170.5	5.9	18.6	49.8833333	598.6		
1992	0	0	41.5	147.1	150.9	245.4	66	25.2	211.2	47.6	9.7	12.7	79.775	957.3		
1993	5.8	0	28.4	46.6	352.2	302.2	50.7	71.7	196	90.1	7.1	5.5	96.3583333	1156.3		
1994	1.5	5.1	0	113.8	196	82.5	24	31.2	124.7	134.1	25.2	7	62.0916667	745.1		
1995	1.6	0	53	93	105.2	203.3	61.8	475.2	293.2	167	9.4	14.4	123.091667	1477.1		
1996	0.8	0	31.3	32.4	99.6	23.4	127	229.3	94.6	218.4	30.9	0.5	74.0166667	888.2		
1997	12.4	0.2	6.7	0.6	107.4	301.8	60.93	66	148.6	95.4	45.9	0.1	70.5025	846.03		
1998	0	8.64	18.7	2.5	152.1	64	179.3	158.5	149.5	794.2	65.4	1.4	132.853333	1594.24		
1999	0	0	0	17.5	66.3	168.9	64.7	201.8	308	216.8	8.4	17.6	89.1666667	1070		
2000	0	6.14	0	0	279.1	84	108.7	60.3	328.7	141.1	0	3	84.2533333	1011.04		
2001	4.3	0	0.6	8.7	352.7	19.8	50.6	116.7	150.5	66.3	5.1	4.9	65.0166667	780.2		
2002	0.6	11.9	0	0.7	219.7	162.8	71.2	31.7	220.7	55.8	9.2	0	65.3583333	784.3		
2003	0	0	9	7.8	154.8	239.6	73.6	112.3	149.7	92.1	25.6	0.2	72.0583333	864.7		
2004	6.1	2	2.9	157.1	85.3	43.3	85	47.1	174.3	115.2	28.8	0	62.2583333	747.1		
2005	0	2.4	12.8	42.5	295.8	269.8	209.2	120	103.1	151.8	12.7	6.7	102.233333	1226.8		
2006	0	0	10.4	40.2	92.1	329.8	107	50.3	117.7	131.2	81.7	30.8	82.6	991.2		
2007	2.8	5	13.3	51.8	92.1	144.1	63.6	234.7	210.8	263.6	26.3	0	92.3416667	1108.1		
2008	2.2	30.7	3.7	44.7	90.3	102.3	173.5	178.7	119.8	261.2	14.5	1.7	85.275	1023.3		
2009	11	1.6	0.5	2.4	133.3	299.6	35.9	28	56.5	80.4	59.5	45.7	62.8666667	754.4		
2010	3.1	3.2	0	302.2	406.7	179.3	296.8	336.6	407.5	12.6	6.8	0	162.9	1954.8		
2011	0	11.4	36.4	36.1	90.6	299.6	160	90	167.3	207.9	29	0.4	94.0583333	1128.7		
2012	3.2	5.7	4	198.1	246	134.1	33.3	288.3	48.8	183	7	2.3	96.15	1153.8		
2013	7.9	0.3	5.7	11	216.1	115.6	108.3	91.5	277.3	91.6	18.8	6.6	79.225	950.7		
2014	14.6	2.7	17.8	11.8	183.8	100.9	20.1	129.2	185	177.3	21.7	3.7	72.3833333	868.6		
2015	1.3	0	0	41.7	46.8	347.1	35.3	24.3	281.3	151.7	66	33	85.7083333	1028.5		
2016	0	0.7	5.7	53.6	258.8	132.1	57.4	175	96.4	254.4	22.2	23.9	90.0166667	1080.2		
2017	0	0	2.2	35.3	76	119	68.3	98.2	218	271.6	14.7	13.6	76.4083333	916.9		
2018	0	12.8	1.7	74.5	269.9	159.9	29.7	27.5	80.4	337.7	3.9	1.2	83.2666667	999.2		
2019	9.6	0	0	13.1	195.9	45.9	15.6	13	208.2	146.2	9.1	0	54.7166667	656.6		
2020	2	0	0	0	226.2	186	40.9	78.5	283.3	193.1	319.5	3.2	111.058333	1332.7		
2021	2.6	4	11.7	55.7	0	155.07	84.42	115.71	99.15	141.22	14.23	6.81	57.5508333	690.61		
2022																
TOTAL	97.8	119.5	341.0	1681.8	5499.6	5333.7	2605.1	3810.3	5687.1	5515.2	1129.6	275.2	2674.7	32095.8		
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
Máximo	14.6	30.7	53.0	302.2	406.7	347.1	296.8	475.2	407.5	794.2	319.5	45.7	162.9	1954.8		
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	14.1	13.0	48.8	12.6	0.0	0.0	49.9	598.6		
MEDIA	3.1	3.7	10.7	52.6	171.9	166.7	81.4	119.1	177.7	172.4	35.3	8.6	83.6	1003.0		
DESVEST	4.013	6.214	13.933	66.937	98.032	93.300	63.555	104.410	88.256	136.394	58.541	11.241	23.990	287.876		
CURTOSIS	1.666	11.046	1.907	5.680	-0.192	-0.814	3.228	3.363	-0.017	13.908	18.707	3.121	2.878	2.878		
SESGO	1.560	2.967	1.575	2.249	0.628	0.379	1.697	1.697	0.674	3.180	4.034	1.813	1.425	1.425		
													Promedio	1002.99438		

Ilustración 17. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Concepción.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM																
Nombre de Estación:		Escarbaderos			Coordenadas GEO.			UTM		Elevación:		msnm			CUENCA:	
Código			Long.	-87°23'33"	X	457632.334	Y	1559189.87	Tipo:			DEPARTAMENTO:				
Organización:	SANAA			Lat.	14°06'12"											
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual	Tot Anual		
2003	11.16	13.98	13.68	27.2	240.33	319.9	97.6	176.7	261	104.5	41.6	1.7	109.1125	1309.35		
2004	9.3	43.7	22.8	113.8	223	156.2	283	106.3	117.3	148.2	52.5	14.7	107.566667	1290.8		
2005	7.2	5	25.4	12.5	340.4	417.8	239.6	150.4	249.8	87.6	37.5	13.3	132.208333	1586.5		
2006	29.3	8.4	0	59.6	114.9	374.9	159.2	87.7	177.6	170.6	97.7	41.1	110.083333	1321		
2007	10.9	11	19.1	84.6	152.4	187.7	66.3	199.8	325	163.4	31.1	4	104.608333	1255.3		
2008	5.6	6.6	3.4	40.4	116	112.7	242.9	230.6	180.2	286.9	11	13.6	104.158333	1249.9		
2009	13.2	15.9	2	0	189	312.6	94.7	81.1	76.8	42.6	75.2	52.3	79.6166667	955.4		
2010	7.7	11.7	0	165.6	383.5	324.7	281.3	772.3	409.3	10	0	0	197.175	2366.1		
2011	5.8	2.8	28.9	24.3	81.8	144.8	249	175.1	171.5	489.7	24.4	8.6	117.225	1406.7		
2012	13.1	12.3	6.1	74.2	223.6	257.6	23.5	59.5	113.2	244.6	4.8	37.9	89.2	1070.4		
TOTAL	113.3	131.4	121.4	602.2	2064.9	2608.9	1737.1	2039.5	2081.7	1748.1	375.8	187.2	1151.0	13811.5		
N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
Máximo	29.3	43.7	28.9	165.6	383.5	417.8	283.0	772.3	409.3	489.7	97.7	52.3	197.2	2366.1		
Mínimo	5.6	2.8	0.0	0.0	81.8	112.7	23.5	59.5	76.8	10.0	0.0	0.0	79.6	955.4		
MEDIA	11.3	13.1	12.1	60.2	206.5	260.9	173.7	204.0	208.2	174.8	37.6	18.7	115.1	1381.15		
DESVEST	6.892	11.489	11.213	51.037	97.941	105.204	96.990	207.418	103.399	139.299	31.051	18.340	32.164	385.973		
CURTOSIS	5.998	6.817	-1.768	0.592	-0.325	-1.446	-1.712	8.076	0.022	2.118	0.074	-0.629	5.355	5.355		
SESGO	2.264	2.429	0.304	0.965	0.648	-0.049	-0.300	2.740	0.751	1.292	0.762	0.902	2.057	2.057		
													Promedio	1381.145		

Ilustración 18. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Escarbadero.

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM														
Nombre de Estación:	La Brea			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm		CUENCA:			
Código				Long.		X	457743.083	Tipo:			DEPARTAMENTO:			
Organización:	SANAA			Lat.		Y	1553659.77							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual	Tot Anual
1989	11.5	17	12.92	107.4	118.1	179.8	82.1	195.7	505.7	157.9	42.8	9	119.993333	1439.92
1990	0	2.4	22	64.7	203.7	210.6	96.8	159.5	223.8	175.7	139	15	109.433333	1313.2
1991	0	8	3.7	14.1	213.9	274.5	37.3	63.2	107.7	235	11.5	37.1	83.833333	1006
1992	18.6	2	12.2	63.2	55.9	241.5	132.6	47.1	300.5	80.1	62.7	15.9	86.025	1032.3
1993	9.5	0	29.6	49.5	408.1	305.7	109.8	120.9	328.1	162.4	25.1	15.5	130.35	1564.2
1994	9.3	12.5	0	154.4	130	103	86.4	80.2	255.3	192	65.3	12.8	91.766667	1101.2
1995	3.4	2	15.8	111.3	187.1	228.7	113.2	489.7	367.8	252	26.5	17.8	151.275	1815.3
1996	8.3	7.8	14.7	2.3	258.9	74.2	198.3	245.5	198.1	279.6	47	6.5	111.766667	1341.2
1997	5.3	28.2	23.6	10.5	52.3	405	118.3	92.2	200.5	138.7	61.6	0	94.683333	1136.2
1998	3.5	0	6.4	15.4	163.9	125.5	190.8	135.1	159	797.9	107.7	22	143.933333	1727.2
1999	26.1	2	0	30.7	147	319.8	144.9	175	592.2	355	10.5	23.7	152.241667	1826.9
2000	14	6.3	0	70.3	241	152.3	91	174.6	421.3	145.5	8	5.5	110.816667	1329.8
2001	17.5	1.5	49.2	0	246	72	98.1	213	298	154.3	3.5	0.2	96.108333	1153.3
2002	1.5	10.5	4	5	223.1	256.5	99	78.9	351.6	99.6	14	1	95.391667	1144.7
2003	3.4	3	21.5	1.4	221.5	366.7	103.6	170.7	252.1	231.6	31.6	2.3	117.45	1409.4
2004	6.8	16.4	3.5	127.9	109.3	116.3	198.5	59	125.2	129.4	49.8	6.8	79.075	948.9
2005	2.6	5.2	41.2	28.5	343.6	356.6	226.7	221.4	341.6	264.3	25.7	73.7	160.925	1931.1
2006	39	13.7	0.7	73	175.8	451.1	235.5	140.6	295.8	268	92.9	90.8	156.408333	1876.9
2007	21.1	8.3	36.5	199.7	246	432.6	108.4	213.1	311.3	264.8	105	9.8	163.05	1956.6
2008	15.7	36.6	13.5	169.1	302	250.6	329.2	334	358.6	387.7	15.2	24.8	186.416667	2237
2009	41	36.8	5.7	4.4	214.5	310.9	98.7	118.8	122.5	141.3	142.3	72.3	109.1	1309.2
2010	24	3.6	3.2	443.5	702.7	460.2	505.1	725.7	578.1	62	21.5	1	294.216667	3530.6
2011	9.3	5.6	46.6	101.5	193.4	284.6	295.9	213	321.9	400.1	56.9	11.6	161.7	1940.4
2012	10.5	14.2	13.1	225.6	255.7	239.2	46.9	293	145.7	335.1	17.3	36.7	136.083333	1633
2013	14	4	40.6	56.1	227	286.9	88.4	245.7	305.8	190.5	50	19.4	127.366667	1528.4
2014	29.9	5.9	17	31.2	204.3	229.2	24.8	120.1	295.1	282.7	26.2	15.9	106.858333	1282.3
2015	6.9	1.6	16.9	62.4	70.5	288.9	123.1	21.6	325	261.7	48.5	9.5	103.05	1236.6
2016	1.7	3.8	58.5	91.1	98.5	313.9	128.5	176.3	143.7	242	37.4	47.9	111.941667	1343.3
2017	6.1	0	7	79.3	144.6	262.4	123.2	179.4	317.6	246.6	17.5	21.4	117.091667	1405.1
2018	0	17.3	4.8	62.1	329.9	158.5	30.5	118.5	153.4	396.2	5.7	7.7	107.05	1284.6
2019	9.1	0.7	0	85.7	143.4	152.1	67.3	104.1	121.5	254.7	23.9	0.5	80.25	963
2020	7.2	2.29	5.4	68.1	393.5	211.8	113.6	205.6	476.5	181.5	374.3	8	170.649167	2047.79
2021	8.7	4.2	19.8	19.8	1.6	260.24	138.92	183.97	142.43	184.82	15.97	12.19	82.72	992.64
2022														
TOTAL	385.5	283.4	549.6	2629.2	7026.8	8381.8	4585.4	6115.2	9443.4	7950.7	1782.9	654.3	4149.0	49788.3
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	41.0	36.8	58.5	443.5	702.7	460.2	505.1	725.7	592.2	797.9	374.3	90.8	294.2	3530.6
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	52.3	72.0	24.8	21.6	107.7	62.0	3.5	0.0	79.1	948.9
MEDIA	11.7	8.6	16.7	79.7	212.9	254.0	139.0	185.3	286.2	240.9	54.0	19.8	125.7	1508.7
DESVEST	10.573	9.672	16.054	87.159	128.757	103.272	95.748	133.136	129.318	132.910	68.226	22.147	42.079	504.946
CURTOSIS	1.480	2.947	0.347	8.817	5.582	-0.383	5.950	8.280	0.092	8.888	15.299	3.459	6.958	6.958
SESGO	1.346	1.801	1.091	2.537	1.716	0.164	2.123	2.469	0.642	2.360	3.515	1.939	2.113	2.113
													Promedio	1508.73485

Ilustración 19. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación La Brea.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM														
Nombre de Estación: Las Sabanas		Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:		msnm		CUENCA:				
Código		Long.		X		463513.8		Tipo:		DEPARTAMENTO:				
Organización: SANAA		Lat.		Y		1550605.7								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual	Tot Anual
2004	14.23	24.75	22.4	165.94	160.54	73.43	162.97	72.6	157.5	121.4	68.3	22	88.8383333	1066.06
2005	8.1	6	31.9	41.4	240.6	385.5	271.7	122.2	316.3	153.3	14.2	19	134.1833333	1610.2
2006	15.4	0	15.5	67.7	197.3	330.5	112.3	70.4	162.5	214.5	66.5	43.9	108.041667	1296.5
2007	6.25	6.25	35.2	136.6	139.45	200.05	36	239.5	272.75	163.75	56.5	25	109.775	1317.3
2008	5.5	18.5	0	73.5	205.75	136.3	229.85	237.1	192	310.25	8.75	6	118.625	1423.5
2009	26.15	6.4	1.15	8.6	177.2	302.15	59.05	88.9	82.55	86.05	71.8	0	75.8333333	910
2010	8.65	0	0	267.9	411.25	227.39	283.4	494	526.5	10.85	26.25	2.9	188.2575	2259.09
2011	10.75	0	15.75	93.15	220.4	216.15	222.35	113.8	271.45	325.6	40.75	6.5	128.054167	1536.65
2012	3	15.25	15.65	159.95	327.9	201.55	44.65	209.8	77.4	307.3	11.9	26.9	116.770833	1401.25
2013	30.2	0	42.2	26.4	238.3	111.3	71	163.8	220.1	178.7	79.3	25.4	98.8916667	1186.7
2014	40.3	3.6	0	24.1	175.2	133.3	32.6	135	269.5	178.5	50	23.3	88.7833333	1065.4
2015	20	0	19.5	41.2	61.7	346	74.7	52.5	322.4	258.3	63.7	39.4	108.283333	1299.4
2016	0	0	49.8	115.4	169.2	221.5	114.7	209.8	138	207.8	31.7	39.8	108.141667	1297.7
2017	0	0	4.8	65.6	188.9	204.2	124.9	177.2	279.8	249.9	27.5	48.8	114.3	1371.6
2018	8.7	46	8.2	82.3	281.1	207.1	66.8	92.1	232.7	369	15.6	14.6	118.683333	1424.2
2019	22.6	2.4	0	31.1	163.8	158.4	30.7	108.3	217.5	369.8	38.8	0	95.2833333	1143.4
2020	22.8	0	2.3	43.3	401.4	197.1	110.1	169.1	340.6	152.9	323.3	6	147.408333	1768.9
2021	21.3	14.6	12.5	86.9	11.5	191.49	109.4	158.61	118.76	156	17.86	9.22	75.6783333	908.14
2022														
TOTAL	263.9	143.8	276.9	1531.0	3771.5	3843.4	2157.2	2914.7	4198.3	3813.9	1012.7	358.7	1948.2	24286.0
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Máximo	40.3	46.0	49.8	267.9	411.3	385.5	283.4	494.0	526.5	369.8	323.3	48.8	188.3	2259.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	8.6	11.5	73.4	30.7	52.5	77.4	10.9	8.8	0.0	75.8	910.0
MEDIA	14.7	8.0	15.4	85.1	209.5	213.5	119.8	161.9	233.2	211.9	56.3	19.9	112.4	1349.2
DESVEST	11.072	12.135	15.582	64.869	101.013	82.480	81.806	100.837	108.712	98.208	70.471	15.527	26.718	320.614
CURTOSIS	-0.006	4.962	-0.112	2.441	0.647	0.033	-0.353	6.590	1.832	-0.392	13.736	-0.945	2.836	2.836
SESGO	0.662	2.116	0.901	1.440	0.363	0.558	0.894	2.186	0.905	-0.025	3.516	0.420	1.251	1.251
													Promedio	1349.22167

Ilustración 20. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Las Sabanas.
Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM														
Nombre de Estación:	Quiebramonte	Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:						
Código		Long.		X	467217	Tipo:		DEPARTAMENTO:						
Organización:	SANAA	Lat.		Y	1557371									
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual	Tot Anual
1989													#¡DIV/0!	0
1990													#¡DIV/0!	873.33
1991	4.18	4.3	7.5	20.49	238.8	185.5	42.6	23.1	84.2	94.5	12.4	51.1	64.055833	768.67
1992	9.9	0.7	30.4	100.7	101.3	277.4	107.7	49.1	153.5	82	22.2	28.3	80.266667	963.2
1993	4	0	33.4	68.5	238.1	244.6	93.3	93.1	200	68.2	21.4	0	88.716667	1064.6
1994	1.5	7	0	73.2	207.3	66.2	58.3	73	158.3	124.6	29.9	8.3	67.3	807.6
1995	0.5	0.2	10.3	146.1	112.8	205.6	88.3	552.7	289.1	190.2	17.9	3.2	134.74167	1616.9
1996	0.3	1.5	8.4	2.2	192.7	94.1	156.2	156.3	135.8	147.2	35.6	0	77.525	930.3
1997	4.55	5.7	10.6	40.4	66.8	368.7	113.6	90.4	189	66.8	70.9	0	85.620833	1027.45
1998	2.2	3.6	12.38	0	147.6	85	118.6	139.1	126.4	479.5	22.9	1.7	94.915	1138.98
1999	6.9	6.3	9.16	49.09	140.8	215	117.4	149.3	381.7	209.5	2.7	6.9	107.89583	1294.75
2000	9.9	14.8	6.55	24.14	191.5	145.5	63.7	164.4	276.1	93	29.1	1.4	85.0075	1020.09
2001	14	0.4	34.5	16.19	259.58	8.4	53.7	187.5	205.7	103.8	6.3	11.9	75.164167	901.97
2002	0.7	7.1	1	9.5	149.4	198.4	82.3	62.7	187.7	105.6	16.5	3.1	68.666667	824
2003	3.8	0.8	12.8	23.1	289.4	251.1	85.3	135.2	132.9	154.6	32.3	0	93.441667	1121.3
2004	0.4	19.9	4.2	92.3	97.8	48.8	186.8	47.4	127.9	129.3	27.6	3.7	65.508333	786.1
2005	3.1	6	35	17.2	219.9	297.6	160.6	99.2	163	93.1	17.4	8.1	93.35	1120.2
2006	9.7	0.4	0	28.4	129.9	301.2	150.6	116.3	139.2	253.2	91.4	31.1	104.28333	1251.4
2007	2.4	4.36	12.6	66	195.6	205.7	84.4	268.3	234.1	140.5	38.8	0.4	104.43	1253.16
2008	5.4	20.6	1	24.6	107.8	127.9	179.9	191.2	197.4	259.8	11.2	4.9	94.308333	1131.7
2009	12.3	3.8	2.1	1.3	209.2	311.1	88.3	55.4	68	59.6	82.3	58.8	79.35	952.2
2010	4.7	3.3	0	194.1	345.8	218.4	237.3	439	297.9	18.4	43.7	2.6	150.43333	1805.2
2011	2.9	0.9	2.9	110	298.2	175.5	188	106.6	262.1	158.1	46.9	19.1	114.26667	1371.2
2012	2.1	5.4	5.7	130	452	140.2	51.1	208.9	102.7	259.9	14.4	22.2	116.216667	1394.6
2013	14.6	0	31.2	38.3	135	164.8	104.8	250	315.7	148	42.7	11.1	104.683333	1256.2
2014	10.8	0	26	45	68.7	166.9	32.7	132.3	139.3	184.2	17.6	15.4	69.908333	838.9
2015	2.9	0	0	36.5	42.6	244.6	31.4	21	344.7	127.5	56.9	30.6	78.225	938.7
2016	0	0	24.7	19.6	141.4	209.9	99.5	205.8	147.2	261	48.1	46.9	100.341667	1204.1
2017	5.1	0	0	57.4	209.4	99.4	90.2	137.9	174.5	199.6	21.4	39	86.158333	1033.9
2018	0.6	5.5	0	28.4	240.5	190	42.5	64.9	108.9	266.8	12.65	7.73	80.7066667	968.48
2019														799.24
2020														1483.51
2021														784.98
2022														
TOTAL	139.4	122.6	322.4	1462.7	5229.9	5247.5	2909.1	4220.1	5343.0	4478.5	893.2	417.5	2565.5	34726.9
N	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	32
Máximo	14.6	20.6	35.0	194.1	452.0	368.7	237.3	552.7	381.7	479.5	91.4	58.8	150.4	1805.2
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	42.6	8.4	31.4	21.0	68.0	18.4	2.7	0.0	64.1	768.7
MEDIA	5.0	4.4	11.5	52.2	186.8	187.4	103.9	150.7	190.8	159.9	31.9	14.9	91.6	1085.2
DESVEST	4.352	5.612	12.195	47.776	91.054	85.302	52.709	118.006	81.093	93.195	22.193	17.147	20.632	256.291
CURTOSIS	-0.282	3.299	-0.618	1.702	1.316	-0.207	0.072	4.836	-0.181	3.820	1.171	0.584	1.308	0.736
SESGO	0.899	1.880	0.913	1.390	0.888	-0.068	0.746	1.996	0.759	1.512	1.232	1.261	1.049	0.967
													Promedio	1085.21594

Ilustración 21. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Quiebramontes.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM														
Nombre de Estación: Rinco de Dolores			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:					
Código			Long.	-87°23'34"	X	457602.246	Tipo:	DEPARTAMENTO:						
Organización: SANAA			Lat.	14°06'10"	Y	1559128.48								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual	Tot Anual
2003	30.2	27.04	30.21	40.19	254.36	257.16	133.4	145.4	185.91	150.72	80.55	3.5	111.553333	1338.64
2004	22.8	36.2	54.7	123.4	160.1	127.3	104.4	74.2	157.7	122.71	85.1	27	91.9008333	1095.61
2005	10.6	9.1	42	52.2	326.1	437.9	175.4	221.3	195.6	63.4	55	27.9	134.708333	1616.5
2006	67	10.6	0.7	54.9	108.25	289.76	227.96	121.45	54.6	76.8	88.1	36.05	94.6808333	1136.17
2007	16.61	16	56.65	49.26	79.6	189.05	94.15	249.85	329.35	212.85	68.15	16.2	114.81	1377.72
2008	17	13.55	5	49.85	127.85	165.71	314.1	223	188.45	362.25	4.6	6.35	123.1425	1477.71
2009	53.1	9.2	1.05	57	232.85	304.3	118.41	97.55	81.55	98.4	76.05	58.35	98.9841667	1187.81
2010	13.55	15.2	1.2	312.15	362.35	273.3	277	692.05	344.1	10.7	12.35	5.1	193.254167	2319.05
2011	12.8	53.7	25.75	31.65	176.2	221.8	343.2	136.16	329.5	204.15	51.2	35.15	135.105	1621.26
2012	30.8	21.4	15.65	121.6	386.15	168.15	98.4	255.05	145.85	206.05	53.95	54.3	129.779167	1557.35
2013	56.2	1.5	73.8	51.1	147.9	109.7	194.1	109	276.5	153.7	66	79.1	109.883333	1318.6
2014	76	35.4	14.7	12.5	126.4	141.7	54.7	195.5	314.6	248.3	76.8	31.2	110.65	1327.8
2015	34.7	11.8	30.1	24.3	76.1	420.9	82	77.5	268.1	251.5	99.6	27.9	117.041667	1404.5
2016	12.5	36.5	54.7	55.2	115.1	221.5	134.5	182.2	184.8	259.5	74.7	89.1	118.358333	1420.3
2017	28.3	14.9	33.4	87.3	250.7	161	199.4	190.4	244.2	273.5	51.5	59	132.8	1593.6
2018	27.4	76.4	7.9	84.1	272.5	263.8	92.8	137.4	118.5	314.8	48.5	64.3	125.7	1508.4
2019	36.2	14.7	1	72.9	203.1	219.2	121.5	132.7	259.5	144.1	70.6	12.2	107.308333	1287.7
2020	39.5	20.09	14.2	49.3	296.37	218.8	180.6	249.8	308.8	222	369.9	15.5	165.405	1984.86
2021	32.83	12.6	36.06	140.53	38.99	215.86	166.46	192.99	103.79	132.03	25.06	22.24	93.2866667	1119.44
2022														
TOTAL	618.1	435.9	498.8	1469.4	3741.0	4406.9	3112.5	3683.5	4091.4	3507.5	1457.7	670.4	2307.8	27693.0
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Máximo	76.0	76.4	73.8	312.2	386.2	437.9	343.2	692.1	344.1	362.3	369.9	89.1	193.3	2319.1
Mínimo	10.6	1.5	0.7	12.5	39.0	109.7	54.7	74.2	54.6	10.7	4.6	3.5	91.3	1095.6
MEDIA	32.5	22.9	26.3	77.3	196.9	231.9	163.8	193.9	215.3	184.6	76.7	35.3	121.5	1457.5
DESVEST	18.859	18.102	22.314	66.214	101.319	88.266	80.360	133.778	90.408	90.651	75.281	25.305	24.960	299.521
CURTOSIS	0.282	3.299	-0.647	8.942	-0.887	1.019	0.157	11.505	-1.156	-0.396	14.410	-0.418	2.964	2.964
SESGO	0.957	1.743	0.571	2.714	0.350	1.036	0.922	3.070	-0.174	0.011	3.545	0.699	1.495	1.495
													Promedio	1457.52737

Ilustración 22. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Rincón de Dolores.

Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACION MENSUAL EN MM														
Nombre de Estación:	SMN		Coordenadas GEO.			UTM		Elevación:	1000	msnm	CUENCA:			
Código			Long.	87-13-10	X	476308	Tipo:	OMM	DEPARTAMENTO:					
Organización:	SANAA		Lat.	14-3.-31	Y	1554124								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	Tot Anual
1989	3.7	1.6	6	51.2	96.7	95.4	57.2	124	333.7	78.8	29.4	0.1	73.15	877.8
1990	1.7	4.2	16.9	3.8	147.1	114.1	33.6	50.7	102	52.3	137.3	10.8	56.2083333	674.5
1991	4.9	0	1.6	20.4	132.2	111	10.1	29.4	83.5	165.1	3.2	34	49.6166667	595.4
1992	9.1	0.8	23.7	39.3	73.1	226.5	41.2	20.7	177.8	95.9	6	14.3	60.7	728.4
1993	7	0.3	17.8	30.9	272.4	181.8	59.2	54.1	164.8	135.4	14.8	10.8	79.1083333	949.3
1994	5.8	5.3	0.2	25.5	149.7	55.5	38.3	25.9	117.9	101.3	30	8.9	47.025	564.3
1995	0.7	2.6	4.5	54.1	134.8	111.6	110	432.9	153.2	99.3	20.5	22.1	95.525	1146.3
1996	3.2	0.9	5.3	35.2	97.1	25.7	116.6	240.8	97.4	236.6	30.5	0	74.1083333	889.3
1997	4.8	4.9	54.2	0.3	46	234.3	44.8	67.3	179.6	130.2	68.9	0	69.6083333	835.3
1998	0	0	7	7.3	191.6	88	104.3	162.4	76.2	498.6	43.5	1.1	98.3333333	1180
1999	6.8	3.6	2.2	12.9	72.5	157.3	85.1	153.2	235.8	140.5	12.2	3.5	73.8	885.6
2000	15.7	1.1	0	28.5	151.1	79.3	62.5	134.7	228.9	71.5	9.1	8.9	65.9416667	791.3
2001	4.4	0.1	9.3	13.5	224.4	10.9	35.6	135.1	164.9	108.4	8	12	60.55	726.6
2002	5.2	8	1.1	1.2	178.1	163	46.1	20.4	107.7	58.3	9.5	15.9	51.2083333	614.5
2003	1.4	0.2	19.4	27.4	279.3	218.8	64.2	114.3	106.8	100.7	51.1	1.4	82.0833333	985
2004	3.5	13.5	14.4	161.6	61.9	49.1	70.9	44	133.8	170.2	24.2	9.5	63.05	756.6
2005	0.2	0.2	8.4	32.8	249.7	287.8	140.4	103.8	106.4	137.7	17.4	6.4	90.9333333	1091.2
2006	12.8	0.8	0	26.1	57.9	196.8	85.2	26	92.4	115.6	112.5	27.9	62.8333333	754
2007	1.6	2.8	23.7	84.7	64.2	143.4	37.8	154.4	233.7	78.4	7.3	1.4	69.45	833.4
2008	10	33.7	1.5	22.7	61.5	80.4	167	177.8	180.6	259.5	16.8	3.1	84.55	1014.6
2009	3.1	6.4	0	0.4	139.4	413.1	51.3	25.9	66	51.9	46.8	37.9	70.1833333	842.2
2010	1.5	6.8	0	202.3	300.8	152	217.8	217.5	232.4	43.6	24.4	0	116.5916667	1399.1
2011	2	0.9	3.5	52.8	162.4	201.3	226.5	48.7	156.8	161.6	44.1	1.6	88.5166667	1062.2
2012	1.6	2.6	9.4	111	236.9	74	19.6	201	58.7	182.4	13.9	5.9	76.4166667	917
2013	4	0.8	31.3	10.1	275.7	142.2	46.8	191.5	343.2	105	30.5	10	99.2583333	1191.1
2014	14.5	1	5.9	3	89	118.7	12.1	125.2	112	139.1	18.6	5.3	53.7	644.4
2015	2.6	0.2	0.2	37.6	52.7	268.6	24	8.6	194.2	195.6	53.6	76.5	76.2	914.4
2016	0	2.8	35	29.2	149.4	180.4	50.3	143.1	105.9	280.7	13.2	17.7	83.975	1007.7
2017	9.9	0.4	0.9	61.4	95.8	172.6	46.4	78.3	196.8	286.2	18.9	4.9	81.0416667	972.5
2018	2.7	8.8	1	63.4	120.7	159.9	19.3	35.4	53.3	276.3	7.3	1.6	62.475	749.7
2019	32.3	2.8	0.3	41.1	119.2	100.6	21.1	28.3	183.9	101.2	18.1	0.8	54.1416667	649.7
2020	3.6	0.7	8.49	0.3	309.6	135.6	4.5	133.8	215.8	226.4	237.6	1	106.449167	1277.39
2021	4	3.2	9.6	108.6	20.8	192.5	83.3	104.7	79.7	123.2	12.8	7	62.45	749.4
2022														
TOTAL	184.3	122.0	322.8	1400.6	4813.7	4942.2	2233.1	3613.9	5075.8	5007.5	1192.0	362.3	2439.2	29270.2
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	32.3	33.7	54.2	202.3	309.6	413.1	226.5	432.9	343.2	498.6	237.6	76.5	116.6	1399.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.3	20.8	10.9	4.5	8.6	53.3	43.6	3.2	0.0	47.0	564.3
MEDIA	5.6	3.7	9.8	42.4	145.9	149.8	67.7	109.5	153.8	151.7	36.1	11.0	73.9	887.0
DESVEST	6.273	6.212	12.371	46.143	82.151	81.727	54.700	87.722	72.642	93.004	46.534	15.249	17.115	205.382
CURTOSIS	9.718	17.526	4.258	4.357	-0.744	2.109	2.348	4.383	0.627	4.809	11.129	10.270	-0.109	-0.109
SESGO	2.735	3.841	1.939	1.999	0.579	0.980	1.584	1.615	0.883	1.832	3.115	2.874	0.573	0.573
Promedio													886.975435	

Ilustración 23. Serie de tiempo de precipitaciones, Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10. Serie de tiempo de temperatura máximas

TEMPERATURA MAXIMA														
Nombre de Estación:	Batallón	Coordenadas GEO.			UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:					
Código		Long.		X	472275	Tipo:		DEPARTAMENTO:						
Organización:	SANAA	Lat.		Y	1555105									
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	25.86	24.94	27.75	30.35	29.31	28.57	28.1	29.09	28.08	26.99	26.6	24.67	27.5258333	
1990	26.43	27.31	28.93	30.91	29.68	29	28.5	29.14	29.25	28.03	25.86	25.04	28.1733333	
1991	26.54	27.5	30.49	31.99	30.24	29.03	28.88	29.77	29.26	27.12	26.24	25.81	28.5725	
1992	26.86	27.65	30.07	30.36	30.14	29.29	27.33	28.53	28.58	28.23	28.18	26.78	28.5	
1993	26.78	29.11	29.75	30.59	29.26	28.05	27.43	27.73	27.66	27.32	25.62	25.48	27.8983333	
1994	25.55	27.25	29.93	30.63	29.98	28.65	29.1	29.82	29.08	27.45	26.68	27.24	28.4466667	
1995	27.67	28.15	30.28	30.17	29.48	28.7	27.87	27.96	28.1	27.08	26.27	26.34	28.1725	
1996	24.88	27.14	28.12	31.14	28.55	29.42	27.19	27.56	29.01	27.23	25.01	25.27	27.5433333	
1997	25.65	27.39	29.15	30.59	31.67	27.77	28.14	29.24	29.23	27.34	26.91	25.95	28.2525	
1998	27.85	29.94	29.83	32.74	31.68	29.44	27.92	29.59	28.78	27.22	25.82	24.95	28.8133333	
1999	25.36	26.41	29.07	30.9	28.8	28.02	27.03	28.42	27.49	25.88	23.79	24.42	27.1325	
2000	24.76	25.98	29.5	30.37	29.18	27.93	28.31	28.41	28.16	26.71	27.14	25.23	27.64	
2001	24.88	27.29	29.21	30.85	29.77	28.74	29.05	29.51	28.05	27.42	25.36	26.95	28.09	
2002	26.36	28.08	29.8	31.13	30.27	28.31	27.62	28.76	28.68	27.85	26.33	27.25	28.37	
2003	25.07	28.47	30.2	30.39	31.37	28.12	28.06	28.93	29.13	27.97	26.49	24.09	28.1908333	
2004	25.94	27.86	28.74	29.86	29.38	28.34	28.27	30.1	29.42	28.39	26.45	26.03	28.2316667	
2005	25.46	28.13	31.26	31.67	29.66	28.58	28.06	28.54	28.61	26.32	24.84	25.91	28.0866667	
2006	25.61	26.44	29.61	30.42	30.58	28.32	28.16	29.09	29.2	28.38	25.38	26.57	28.1466667	
2007	27.54	28.77	29.9	30.68	30.67	28.66	28.4	28.4	28.17	26.36	24.73	25.21	28.1241667	
2008	26.02	28.47	29.38	29.98	30.32	28.23	27.2	28.43	28.68	26.5	24.06	25.15	27.7016667	
2009	26.23	26.57	27.99	31.34	28.68	28.57	28.23	29.07	29.77	28.3	26.26	27.19	28.1833333	
2010	26.46	29.4	30.56	30.08	29.39	28.9	27.82	28.04	28.06	26.61	25.13	23.87	27.86	
2011	26.86	27.91	29.24	30.65	29.59	28.65	27.64	28.53	28.48	25.82	25.6	24.94	27.8258333	
2012	26.2	28.01	29.12	29.3	28.73	28.55	27.95	28.78	28.87	27.6	25.18	26.71	27.9166667	
2013	26.1	28.6	28.62	31.41	30.37	28.57	27.95	28.73	28.46	28.09	26.59	25.98	28.2891667	
2014	25.24	28.18	30.3	31.75	29.21	28.8	29.05	29.88	28.4	27.16	25.26	25.32	28.2125	
2015	25.7	27.3	29.71	31.86	30.63	28.6	28.45	30.96	30.08	28.4	27.21	27.26	28.8466667	
2016	27.04	26.47	30.87	32.32	31.84	28.83	28.83	29.47	29.1	28.05	26.15	26.22	28.7658333	
2017	26.3	28.81	29.2	30.91	29.47	28.67	27.9	28.75	29.18	27.25	25.66	24.74	28.07	
2018	24.21	26.52	30.17	30.14	29.53	28.24	28.91	28.93	29.3	27.4	27.17	25.87	28.0325	
2019	26.6	28.68	30.16	31.11	30	29.68	29.48	30.55	30.84	27.8	27.25	26.85	29.0833333	
2020	27.04	28.83	30.56	33.1	30.87	28.34	28.66	28.82	29.17	27.48	26.1	24.92	28.6575	
2021	26.07	27.5	28.38	29.49	30.38	29.44	28.88	29.12	29.25	28.92	26.71	27.07	28.4341667	
2022														
TOTAL	861.1	915.1	975.9	1019.2	988.7	945.0	930.4	956.7	951.6	904.7	858.0	851.3	873.8	
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Máximo	27.9	29.9	31.3	33.1	31.8	29.7	29.5	31.0	30.8	28.9	28.2	27.3	29.1	
Mínimo	24.2	26.0	28.0	29.3	28.6	27.8	27.0	27.6	27.5	25.8	23.8	23.9	27.1	
MEDIA	26.1	27.8	29.6	30.9	30.0	28.6	28.2	29.0	28.9	27.4	26.0	25.8	28.2	
DESVEST	0.877	0.960	0.785	0.879	0.881	0.469	0.625	0.771	0.690	0.763	0.970	0.974	0.407	
CURTOSIS	-0.328	-0.474	-0.301	0.347	-0.297	-0.202	-0.652	0.410	1.167	-0.331	0.080	-0.935	0.684	
SESGO	-0.019	0.049	-0.194	0.624	0.484	0.400	0.041	0.547	0.449	-0.313	-0.162	-0.118	-0.157	
													Promedio	28.1754545

Ilustración 24. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Batallón.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MAXIMAS														
Nombre de Estación:	Concepción			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm		CUENCA:			
Código				Long.	X		471171	Tipo:	DEPARTAMENTO:					
Organización:	SANAA			Lat.	Y		1546175							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	26.96	26.08	28.56	31.26	29.97	29.22	28.8	29.56	28.55	27.73	27.4	25.65	28.3116667	
1990	27.55	28.37	30.04	31.65	30.29	29.79	29.27	29.88	29.83	28.63	26.71	26.02	29.0025	
1991	27.61	28.65	31.24	32.5	30.78	29.67	29.68	30.5	29.91	27.7	27.17	26.82	29.3525	
1992	27.9	28.55	31.01	31.26	30.97	29.8	28.14	29.29	29.19	28.96	28.84	27.75	29.305	
1993	27.73	30.1	30.57	31.06	29.63	28.68	28.3	28.6	28.29	28.02	26.62	26.55	28.6791667	
1994	26.69	28.38	30.84	31.41	30.35	29.33	29.88	30.5	29.71	27.98	27.46	28.21	29.2283333	
1995	28.69	29.3	31.03	30.66	30	29.15	28.58	28.35	28.62	27.6	27.19	27.34	28.8758333	
1996	25.99	28.24	29.09	31.83	29.17	29.96	27.85	28.25	29.49	27.84	25.88	26.29	28.3233333	
1997	26.7	28.59	30.15	31.24	32.34	28.39	29.08	30.27	29.87	28.04	27.7	26.93	29.1083333	
1998	28.84	30.61	30.77	33.3	32.12	30.09	28.65	30.2	29.03	27.78	26.62	26.06	29.5058333	
1999	26.58	27.55	30.16	31.68	29.28	28.59	27.79	28.99	27.86	26.48	24.77	25.49	27.935	
2000	25.94	27.18	30.46	31.21	29.83	28.74	29.13	29.18	28.6	27.54	27.95	26.43	28.5158333	
2001	26.09	28.48	30.07	31.85	30.39	29.45	29.7	30.27	28.57	28.19	26.27	28	28.9441667	
2002	27.49	29.26	30.92	32.12	31.1	28.89	28.52	29.66	29.12	28.54	27.21	28.22	29.2541667	
2003	26.31	29.5	30.84	31.01	31.78	28.6	28.84	29.69	29.64	28.6	27.36	25.23	28.95	
2004	26.99	28.89	29.98	30.65	30.22	29.16	28.98	30.71	29.72	28.95	27.32	27.12	29.0575	
2005	26.65	29.2	31.84	32.22	30.17	28.99	28.69	29.21	29.23	26.87	25.79	26.97	28.8191667	
2006	26.81	27.68	30.66	31.22	30.96	28.89	28.96	29.79	29.76	28.95	26.21	27.6	28.9575	
2007	28.65	29.68	31	31.25	30.94	29.26	29.06	28.88	28.76	26.87	25.76	26.32	28.8691667	
2008	27.18	29.45	30.3	30.58	30.62	28.89	27.92	28.94	29.08	27.16	25.11	26.35	28.465	
2009	27.43	27.78	29.05	32.06	29.38	29.11	29.05	29.88	30.4	28.96	27.08	28.13	29.0258333	
2010	27.54	30.43	31.51	30.79	29.98	29.42	28.34	28.56	28.45	27.51	26.02	24.96	28.6258333	
2011	27.9	29.02	30.2	31.25	30.13	29.19	28.28	29.06	29.01	26.45	26.55	26.09	28.5941667	
2012	27.35	29.13	30.17	29.92	29.21	29.08	28.83	29.41	29.54	28.31	26.28	27.72	28.7458333	
2013	27.29	29.59	29.62	32.01	30.8	29.26	28.71	29.43	28.91	28.69	27.36	26.99	29.055	
2014	26.48	29.25	31.18	32.52	29.91	29.57	30.02	30.57	28.97	27.79	26.25	26.48	29.0825	
2015	26.94	28.46	30.71	32.62	31.51	29.44	29.48	31.95	30.75	28.99	27.98	28.24	29.7558333	
2016	28.1	27.67	31.91	32.98	32.21	29.42	29.63	30.11	29.76	28.78	27.06	27.2	29.5691667	
2017	27.37	29.63	30.28	31.67	30.02	29.2	28.75	29.44	29.65	27.9	26.68	25.93	28.8766667	
2018	25.5	27.78	31.24	30.82	29.98	28.98	29.84	29.8	29.95	28	28.07	26.94	28.9083333	
2019	27.78	29.7	31.25	31.91	30.49	30.35	30.26	31.16	31.24	28.3	28.17	27.94	29.8791667	
2020	28.12	29.9	31.62	33.42	31.4	28.98	29.41	29.46	29.66	28.08	26.78	25.9	29.3941667	
2021	27.21	28.57	29.49	30.27	31.06	30	29.66	29.73	29.77	29.42	27.67	28.12	29.2475	
2022														
TOTAL	871.4	924.6	979.2	1010.9	977.0	936.3	927.3	949.7	940.3	897.9	859.9	860.3	927.9	
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Máximo	28.8	30.6	31.9	33.4	32.3	30.4	30.3	32.0	31.2	29.4	28.8	28.2	29.9	
Mínimo	25.5	27.2	29.1	29.9	29.2	28.4	27.8	28.3	27.9	26.5	24.8	25.0	27.9	
MEDIA	27.2	28.8	30.5	31.6	30.5	29.3	29.0	29.7	29.4	28.0	26.9	26.8	29.0	
DESVEST	0.819	0.866	0.725	0.846	0.861	0.470	0.656	0.822	0.714	0.756	0.909	0.932	0.409	
CURTOSIS	-0.313	-0.606	-0.234	-0.202	-0.375	-0.221	-0.739	0.620	0.574	-0.282	0.025	-0.868	0.675	
SESGO	-0.020	-0.043	-0.287	0.328	0.449	0.408	0.017	0.545	0.287	-0.428	-0.190	-0.145	-0.160	
													Promedio	28.9763636

Ilustración 25 Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Concepción.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MAXIMA														
Nombre de Estación:	Escarbaderos			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:				
Código				Long.	-87°23'33"	X	457632.334	Tipo:			DEPARTAMENTO:			
Organización:	SANAA			Lat.	14°06'12"	Y	1559189.87							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	Tot Anual
1989	26.07	24.96	27.47	30.13	29	28.45	27.97	28.9	27.79	26.81	26.52	24.52	27.3825	
1990	26.67	27.36	28.91	30.71	29.52	28.99	28.46	29.06	29.05	27.67	25.61	25.05	28.0883333	337.06
1991	26.71	27.46	30.24	31.66	29.98	28.93	28.8	29.68	29.05	26.91	26.02	25.76	28.4333333	341.2
1992	26.82	27.65	30.06	29.98	29.76	28.99	27.38	28.45	28.37	28.09	27.78	26.49	28.3183333	339.82
1993	26.62	28.64	29.23	30.2	28.95	27.92	27.62	27.81	27.55	27.29	25.59	25.51	27.7441667	332.93
1994	25.68	27.37	29.76	30.49	29.85	28.59	29.21	29.72	28.9	27.2	26.32	26.81	28.325	339.9
1995	27.38	27.86	29.94	29.74	29.16	28.43	27.87	27.68	27.92	26.87	26.36	26.37	27.965	335.58
1996	24.83	27.13	27.96	30.74	28.29	29.14	27.15	27.51	28.74	27.06	24.86	25.44	27.4041667	328.85
1997	25.68	27.52	29.29	30.36	31.28	27.62	28.28	29.36	28.98	27.23	26.86	25.82	28.19	338.28
1998	27.9	29.6	29.58	32.25	31.2	29.3	27.84	29.27	28.29	27.03	25.82	25.04	28.5933333	343.12
1999	25.47	26.62	29.09	30.82	28.5	27.76	27.04	28.17	27.15	25.62	23.57	24.27	27.0066667	324.08
2000	24.75	25.87	29.44	30.1	28.81	27.88	28.24	28.18	27.82	26.56	27	24.9	27.4625	329.55
2001	24.55	27.33	28.7	30.62	29.35	28.53	28.84	29.32	27.76	27.22	25.09	26.65	27.83	333.96
2002	26.18	27.84	29.47	30.78	30.23	28.19	27.87	29.04	28.29	27.75	26.05	26.95	28.22	338.64
2003	24.68	28.36	29.89	29.95	30.95	27.85	28.08	28.86	28.75	27.67	26.25	23.71	27.9166667	335
2004	25.57	27.52	28.5	29.16	29.08	28.27	28	29.67	29	28.08	26.17	25.59	27.8841667	334.61
2005	25.11	27.69	30.69	31.05	29.36	28.32	27.92	28.44	28.51	25.98	24.65	25.86	27.7983333	333.58
2006	25.55	26.39	29.37	30.02	30.22	28.14	28.18	28.96	28.89	28.01	25.09	26.24	27.9216667	335.06
2007	27.39	28.43	29.48	30.5	30.45	28.52	28.38	28.21	28	26.04	24.63	25.21	27.9366667	335.24
2008	25.98	28.22	29.04	29.51	29.79	28.11	27.12	28.16	28.32	26.3	23.89	25.18	27.4683333	329.62
2009	26.19	26.45	27.69	31.08	28.47	28.36	28.3	29.04	29.57	28.17	25.98	26.98	28.0233333	336.28
2010	26.16	29.12	30.09	29.85	29.35	28.7	27.65	27.84	27.78	26.39	25.09	23.75	27.6475	331.77
2011	26.88	27.91	28.9	30.28	29.17	28.42	27.59	28.39	28.26	25.57	25.47	24.94	27.6483333	331.78
2012	26.32	28.14	29.21	28.88	28.52	28.38	28.18	28.57	28.72	27.29	24.79	26.44	27.7866667	333.44
2013	26.13	28.57	28.22	31.1	30.01	28.5	28.01	28.59	28.17	27.94	26.29	25.89	28.1183333	337.42
2014	25.14	28.31	30.37	31.51	28.82	28.71	29.14	29.67	28.15	27.04	25.1	25.22	28.0983333	337.18
2015	25.69	27.14	29.65	31.77	30.91	28.7	28.77	31.24	29.88	28.24	27.14	27.21	28.8616667	346.34
2016	26.86	26.13	30.94	31.92	31.36	28.7	28.93	29.28	28.93	27.75	25.91	26.18	28.5741667	342.89
2017	26.19	28.73	28.97	30.76	29.27	28.44	28	28.61	28.88	27.12	25.52	24.85	27.945	335.34
2018	24.13	26.86	30.19	29.76	29.22	28.22	29.14	29.11	29.2	27.28	27.12	25.84	28.0058333	336.07
2019	26.53	28.86	30.1	30.98	29.56	29.55	29.48	30.34	30.32	27.59	27.06	26.54	28.9091667	346.91
2020	26.93	28.72	30.5	32.9	30.5	28.25	28.7	28.69	28.84	27.26	25.93	24.97	28.5158333	342.19
2021	26.17	27.54	28.49	29.38	30.24	29.22	28.71	28.83	28.91	28.51	26.18	26.87		
2022														
TOTAL	259.8	278.2	292.9	300.3	295.4	283.1	279.4	286.1	285.8	269.5	252.0	253.9	278.0	10423.7
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Máximo	27.9	29.6	30.9	32.9	31.4	29.6	29.5	31.2	30.3	28.2	27.8	27.2	28.0	346.9
Mínimo	24.1	25.9	27.7	28.9	28.3	27.6	27.0	27.5	27.2	25.6	23.6	23.7	27.5	324.1
MEDIA	26.0	27.8	29.3	30.0	29.5	28.3	27.9	28.6	28.6	27.0	25.2	25.4	27.8	336.25
DESVEST	0.802	0.860	0.844	0.731	0.813	0.235	0.386	0.530	0.522	0.996	0.765	1.075	0.170	2.041
CURTOSIS	-0.063	0.000	0.541	-0.720	-0.666	0.798	0.925	0.436	0.187	-1.932	-0.732	-0.514	0.042	0.042
SESGO	0.143	-0.635	-0.256	0.014	0.391	-0.379	-1.102	0.627	0.316	0.017	-0.038	-0.375	-0.799	-0.799
													Promedio	28.0007292

Ilustración 26. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Escarbadero.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MAXIMA														
Nombre de Estación:	La Brea			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm		CUENCA:			
Código				Long.	X	457743.083	Tipo:	DEPARTAMENTO:						
Organización:	SANAA			Lat.	Y	1553659.77								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	26.87	25.77	28.07	30.83	29.45	28.86	28.39	29.16	28.11	27.31	27.07	25.23	27.9266667	
1990	27.47	28.12	29.71	31.28	29.92	29.48	28.91	29.49	29.4	28.11	26.22	25.7	28.6508333	
1991	27.42	28.27	30.77	32.04	30.33	29.33	29.31	30.09	29.44	27.3	26.67	26.45	28.9516667	
1992	27.54	28.28	30.72	30.62	30.4	29.34	27.89	28.9	28.74	28.58	28.2	27.15	28.8633333	
1993	27.28	29.38	29.83	30.53	29.22	28.33	28.2	28.38	27.95	27.76	26.28	26.26	28.2833333	
1994	26.46	28.14	30.42	31.07	30.09	29.01	29.66	30.11	29.3	27.56	26.92	27.59	28.8608333	
1995	28.17	28.71	30.51	30.11	29.5	28.74	28.31	27.94	28.27	27.24	27	27.1	28.4666667	
1996	25.62	27.93	28.66	31.24	28.7	29.48	27.59	27.96	29.05	27.49	25.49	26.19	27.95	
1997	26.42	28.39	30.02	30.87	31.76	28.03	28.89	30.02	29.38	27.72	27.41	26.5	28.7841667	
1998	28.6	30.1	30.27	32.69	31.5	29.72	28.31	29.67	28.51	27.42	26.39	25.82	29.0833333	
1999	26.31	27.41	29.88	31.4	28.85	28.14	27.54	28.54	27.42	26.04	24.27	25.05	27.5708333	
2000	25.61	26.74	30.17	30.75	29.26	28.39	28.77	28.69	28.11	27.15	27.59	25.78	28.0841667	
2001	25.43	28.2	29.37	31.36	29.8	29.02	29.23	29.79	28.11	27.78	25.73	27.42	28.4366667	
2002	27	28.71	30.29	31.57	30.82	28.58	28.44	29.57	28.59	28.23	26.66	27.66	28.8433333	
2003	25.55	29.09	30.38	30.39	31.2	28.18	28.61	29.36	29.09	28.11	26.87	24.52	28.4458333	
2004	26.34	28.29	29.42	29.78	29.64	28.8	28.45	30.08	29.23	28.47	26.78	26.36	28.47	
2005	25.97	28.51	31.13	31.47	29.7	28.62	28.33	28.89	28.93	26.4	25.34	26.63	28.3266667	
2006	26.42	27.28	30.18	30.65	30.48	28.53	28.69	29.39	29.25	28.43	25.68	27	28.4983333	
2007	28.23	29.13	30.33	30.94	30.65	28.93	28.79	28.53	28.39	26.42	25.35	26.01	28.475	
2008	26.82	28.95	29.73	29.96	30.06	28.53	27.58	28.5	28.61	26.76	24.63	26.03	28.0133333	
2009	27.05	27.34	28.49	31.63	28.94	28.73	28.83	29.56	29.95	28.58	26.53	27.61	28.6033333	
2010	26.92	29.85	30.81	30.32	29.73	29.05	28.01	28.19	28.04	27.05	25.74	24.56	28.1891667	
2011	27.63	28.71	29.64	30.71	29.56	28.8	28.01	28.73	28.62	26.02	26.17	25.78	28.1983333	
2012	27.15	28.95	29.96	29.33	28.84	28.74	28.73	28.98	29.16	27.8	25.57	27.17	28.365	
2013	26.96	29.3	28.95	31.53	30.31	28.95	28.49	29.03	28.47	28.34	26.84	26.6	28.6475	
2014	26.01	29.08	31.02	32.1	29.3	29.2	29.74	30.1	28.54	27.46	25.78	26.02	28.6958333	
2015	26.55	27.96	30.37	32.32	31.5	29.23	29.39	31.83	30.3	28.63	27.65	27.85	29.465	
2016	27.57	26.97	31.64	32.39	31.63	29.09	29.4	29.68	29.36	28.28	26.56	26.84	29.1175	
2017	26.95	29.33	29.76	31.3	29.63	28.79	28.54	29.05	29.19	27.57	26.26	25.67	28.5033333	
2018	25.03	27.72	30.99	30.22	29.55	28.69	29.73	29.64	29.6	27.69	27.75	26.59	28.6	
2019	27.37	29.59	30.89	31.59	29.92	30.01	29.95	30.68	30.57	27.92	27.71	27.35	29.4625	
2020	27.7	29.49	31.3	33.14	30.87	28.68	29.15	29.09	29.16	27.68	26.42	25.64	29.0266667	
2021	26.97	28.26	29.26	29.91	30.7	29.57	29.22	29.23	29.27	28.87	26.89	27.62	28.8141667	
2022														
TOTAL	885.4	938.0	992.9	1026.0	991.8	953.6	947.1	966.9	954.1	912.2	872.4	871.8	942.7	
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Máximo	28.6	30.1	31.6	33.1	31.8	30.0	30.0	31.8	30.6	28.9	28.2	27.9	29.5	
Mínimo	25.0	26.7	28.5	29.3	28.7	28.0	27.5	27.9	27.4	26.0	24.3	24.5	27.6	
MEDIA	26.8	28.4	30.1	31.1	30.1	28.9	28.7	29.3	28.9	27.6	26.4	26.4	28.6	
DESVEST	0.850	0.949	0.821	0.878	0.850	0.461	0.644	0.811	0.690	0.739	0.903	0.895	0.425	
CURTOSIS	-0.304	0.638	0.148	-0.142	-0.623	-0.025	-0.600	1.663	0.177	-0.120	0.007	-0.536	0.222	
SESGO	-0.137	-0.659	-0.504	0.267	0.445	0.323	0.060	0.780	0.225	-0.553	-0.304	-0.299	0.042	
													Promedio	28.5658586

Ilustración 27. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación La Brea.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MAXIMA														
Nombre de Estación:	Quiebramonte		Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:					
Código			Long.		X	467217	Tipo:		DEPARTAMENTO:					
Organización:	SANAA		Lat.		Y	1557371								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	25.71	24.73	27.49	30.08	29.07	28.42	27.95	28.95	27.89	26.79	26.43	24.44	27.3291667	
1990	26.3	27.12	28.71	30.67	29.5	28.87	28.38	29	29.09	27.78	25.61	24.88	27.9925	
1991	26.42	27.28	30.26	31.76	30.05	28.89	28.72	29.64	29.09	26.95	26	25.62	28.39	
1992	26.66	27.48	29.89	30.05	29.83	29.09	27.21	28.39	28.41	28.06	27.94	26.52	28.2941667	
1993	26.55	28.76	29.41	30.35	29.07	27.89	27.34	27.61	27.51	27.18	25.43	25.3	27.7	
1994	25.39	27.1	29.7	30.42	29.85	28.51	29.02	29.68	28.91	27.27	26.39	26.88	28.26	
1995	27.36	27.83	30	29.9	29.28	28.51	27.75	27.78	27.94	26.9	26.13	26.16	27.9616667	
1996	24.66	26.92	27.88	30.87	28.34	29.23	27.06	27.42	28.83	27.05	24.79	25.13	27.3483333	
1997	25.46	27.2	28.99	30.36	31.4	27.61	28.03	29.11	29.03	27.17	26.75	25.73	28.07	
1998	27.68	29.68	29.55	32.44	31.42	29.28	27.77	29.38	28.53	27.05	25.67	24.78	28.6025	
1999	25.18	26.27	28.87	30.71	28.58	27.83	26.9	28.24	27.29	25.68	23.53	24.16	26.9366667	
2000	24.53	25.72	29.29	30.1	28.92	27.78	28.15	28.2	27.96	26.5	26.93	24.89	27.4141667	
2001	24.54	27.07	28.86	30.57	29.5	28.53	28.88	29.32	27.85	27.2	25.1	26.64	27.8383333	
2002	26.08	27.77	29.47	30.8	30.09	28.16	27.55	28.72	28.46	27.68	26.08	26.96	28.1516667	
2003	24.72	28.24	29.95	30.11	31.15	27.93	27.92	28.78	28.91	27.75	26.25	23.75	27.955	
2004	25.61	27.54	28.41	29.44	29.12	28.18	28.06	29.84	29.2	28.18	26.2	25.69	27.9558333	
2005	25.12	27.76	30.93	31.33	29.46	28.4	27.9	28.39	28.46	26.08	24.59	25.68	27.8416667	
2006	25.36	26.18	29.31	30.11	30.37	28.14	28.03	28.93	29	28.13	25.12	26.25	27.9108333	
2007	27.26	28.46	29.53	30.48	30.52	28.5	28.28	28.24	28	26.14	24.5	25.01	27.91	
2008	25.79	28.19	29.08	29.68	30.04	28.07	27.05	28.24	28.47	26.31	23.81	24.94	27.4725	
2009	25.99	26.3	27.67	31.09	28.48	28.39	28.11	28.92	29.6	28.15	26.02	26.95	27.9725	
2010	26.16	29.11	30.21	29.87	29.26	28.73	27.66	27.87	27.88	26.36	24.94	23.62	27.6391667	
2011	26.67	27.7	28.92	30.4	29.33	28.46	27.51	28.38	28.3	25.6	25.37	24.72	27.6133333	
2012	26.02	27.83	28.95	29.02	28.56	28.38	27.88	28.6	28.7	27.36	24.84	26.43	27.7141667	
2013	25.89	28.4	28.29	31.18	30.15	28.42	27.84	28.57	28.27	27.93	26.34	25.76	28.0866667	
2014	24.98	28.02	30.14	31.5	28.94	28.64	28.93	29.7	28.21	27	25.02	25.08	28.0133333	
2015	25.47	27.03	29.49	31.68	30.56	28.49	28.41	30.91	29.9	28.24	27.06	27.09	28.6941667	
2016	26.8	26.14	30.72	32.05	31.58	28.67	28.74	29.3	28.92	27.81	25.9	26.03	28.555	
2017	26.07	28.61	28.91	30.71	29.3	28.49	27.79	28.58	28.99	27.08	25.42	24.56	27.8758333	
2018	23.95	26.41	29.97	29.88	29.32	28.1	28.83	28.85	29.17	27.24	26.98	25.66	27.8633333	
2019	26.35	28.55	29.93	30.89	29.74	29.51	29.35	30.39	30.59	27.63	27.01	26.53	28.8725	
2020	26.8	28.59	30.32	32.95	30.64	28.19	28.56	28.67	28.97	27.29	25.91	24.76	28.4708333	
2021	25.9	27.33	28.22	29.31	30.2	29.27	28.69	28.91	29.03	28.67	26.34	26.81	28.2233333	
2022														
TOTAL	722.4	771.0	822.7	856.9	832.5	795.3	783.3	805.6	799.8	760.1	719.1	716.0	782.0	
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Máximo	27.7	29.7	30.9	32.4	31.6	29.3	29.0	30.9	29.9	28.2	27.9	27.1	28.7	
Mínimo	24.0	25.7	27.7	29.0	28.3	27.6	26.9	27.4	27.3	25.6	23.5	23.6	26.9	
MEDIA	25.9	27.5	29.3	30.6	29.7	28.5	28.1	28.8	28.6	27.2	25.8	25.6	28.0	
DESVEST	0.926	0.972	0.780	0.806	0.916	0.416	0.594	0.769	0.611	0.756	1.012	0.961	0.389	
CURTOSIS	-0.445	-0.381	0.015	-0.075	-0.484	-0.031	-0.659	0.831	-0.159	-0.572	-0.014	-0.615	0.663	
SESGO	0.112	0.085	-0.220	0.418	0.538	0.259	0.113	0.634	-0.022	-0.377	-0.049	-0.225	-0.200	
													Promedio	27.9675505

Ilustración 29. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Quiebramontes.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MAXIMA														
Nombre de Estación: Rinco de Dolores			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:		msnm		CUENCA:			
Código			Long.	-87°23'34"	X	457602.246	Tipo:		DEPARTAMENTO:					
Organización: SANAA			Lat.	14°06'10"	Y	1559128.48								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	25.46	24.34	27.01	29.6	28.64	28.15	27.65	28.69	27.54	26.41	26.1	23.98	26.9641667	
1990	26.07	26.79	28.3	30.27	29.21	28.63	28.11	28.73	28.78	27.32	25.14	24.56	27.6591667	
1991	26.17	26.85	29.82	31.37	29.71	28.63	28.41	29.36	28.74	26.61	25.52	25.24	28.0358333	
1992	26.27	27.17	29.55	29.48	29.26	28.72	26.99	28.1	28.08	27.71	27.43	25.98	27.895	
1993	26.11	28.06	28.77	29.94	28.74	27.61	27.19	27.38	27.24	26.93	25.06	24.94	27.3308333	
1994	25.08	26.79	29.25	30.05	29.66	28.27	28.87	29.41	28.59	26.92	25.85	26.2	27.9116667	
1995	26.77	27.2	29.5	29.44	28.9	28.19	27.53	27.47	27.65	26.57	25.87	25.83	27.5766667	
1996	24.22	26.53	27.43	30.35	27.96	28.87	26.82	27.16	28.49	26.73	24.37	24.88	26.9841667	
1997	25.12	26.87	28.74	29.97	30.9	27.31	27.82	28.87	28.66	26.86	26.45	25.3	27.7391667	
1998	27.38	29.2	29.04	31.9	30.97	28.98	27.48	28.95	28.12	26.74	25.4	24.45	28.2175	
1999	24.83	26.03	28.49	30.38	28.22	27.47	26.66	27.89	26.95	25.29	23.03	23.67	26.5758333	
2000	24.11	25.21	28.89	29.6	28.45	27.48	27.84	27.78	27.58	26.11	26.54	24.22	26.9841667	
2001	23.87	26.67	28.18	30.04	28.99	28.15	28.54	28.95	27.49	26.8	24.59	26.05	27.36	
2002	25.55	27.17	28.83	30.17	29.77	27.89	27.45	28.64	28.05	27.38	25.58	26.41	27.7408333	
2003	24	27.79	29.51	29.59	30.75	27.6	27.67	28.48	28.48	27.32	25.77	23.08	27.5033333	
2004	24.97	26.93	27.79	28.66	28.65	27.87	27.65	29.34	28.81	27.78	25.7	24.99	27.4283333	
2005	24.45	27.05	30.33	30.71	29.09	28.1	27.6	28.1	28.18	25.65	24.13	25.27	27.3883333	
2006	24.88	25.7	28.75	29.53	30.02	27.83	27.79	28.63	28.61	27.68	24.63	25.65	27.475	
2007	26.75	27.89	28.82	30.16	30.31	28.21	28.06	27.96	27.7	25.75	24.07	24.61	27.5241667	
2008	25.35	27.65	28.5	29.15	29.58	27.78	26.76	27.89	28.1	25.94	23.32	24.53	27.0458333	
2009	25.53	25.78	27.08	30.66	28.11	28.08	27.9	28.64	29.27	27.86	25.55	26.49	27.5791667	
2010	25.57	28.54	29.53	29.48	29.05	28.43	27.38	27.57	27.56	25.89	24.6	23.14	27.2283333	
2011	26.31	27.31	28.33	29.93	28.87	28.12	27.26	28.13	27.99	25.21	24.93	24.3	27.2241667	
2012	25.69	27.53	28.64	28.52	28.27	28.1	27.76	28.25	28.38	26.9	24.18	25.88	27.3416667	
2013	25.5	28.02	27.66	30.77	29.78	28.16	27.64	28.26	27.94	27.63	25.86	25.34	27.7133333	
2014	24.48	27.73	29.88	31.06	28.44	28.32	28.69	29.34	27.86	26.71	24.57	24.6	27.64	
2015	25.04	26.51	29.1	31.36	30.47	28.3	28.31	30.81	29.56	27.94	26.76	26.72	28.4066667	
2016	26.32	25.48	30.42	31.55	31.14	28.39	28.58	28.97	28.6	27.34	25.41	25.67	28.1558333	
2017	25.61	28.27	28.36	30.34	28.98	28.16	27.59	28.27	28.64	26.77	24.95	24.23	27.5141667	
2018	23.45	26.22	29.59	29.4	28.97	27.85	28.7	28.7	28.9	26.96	26.63	25.26	27.5525	
2019	25.88	28.32	29.49	30.52	29.27	29.21	29.11	30.07	30.11	27.33	26.56	25.92	28.4825	
2020	26.35	28.14	29.89	32.73	30.2	27.93	28.36	28.38	28.59	26.94	25.56	24.45	28.1266667	
2021	25.58	27	27.92	28.98	29.89	28.95	28.32	28.51	28.63	28.21	25.62	26.29	27.825	
2022														
TOTAL	481.7	517.9	549.6	573.1	559.8	535.4	531.1	544.3	541.9	511.8	478.8	476.4	525.2	
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
Máximo	26.8	28.5	30.4	32.7	31.1	29.2	29.1	30.8	30.1	28.2	26.8	26.7	28.5	
Mínimo	23.5	25.5	27.1	28.5	28.1	27.6	26.8	27.6	27.6	25.2	23.3	23.1	27.0	
MEDIA	25.4	27.3	28.9	30.2	29.5	28.2	28.0	28.6	28.5	26.9	25.2	25.1	27.6	
DESVEST	0.847	0.940	0.938	1.081	0.866	0.388	0.582	0.786	0.641	0.879	0.944	1.015	0.396	
CURTOSIS	0.113	-0.759	-0.740	0.195	-0.836	2.150	-0.166	2.248	0.833	-0.803	-0.551	-0.230	0.151	
SESGO	-0.536	-0.602	-0.191	0.532	0.260	1.283	0.110	1.431	0.807	-0.525	-0.078	-0.369	0.897	
													Promedio	27.579697

Ilustración 30. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Rincón de Dolores.

Fuente: Elaboración propia.

Temperaturas Maximas														
Nombre de Estación:	SMN	Coordenadas GEO.			UTM			Elevación:	1000	msnm	CUENCA:			
Código:		Long.	87-13-10	X	476308	Tipo:	OMM	DEPARTAMENTO:						
Organización:	SMN	Lat.	14-3.-31	Y	1554124									
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	25.9	26.04	29.08	30.79	29.33	28.7	28.24	29.49	28.06	27.1	27.15	25.35	27.9358333	
1990	25.88	27.51	28.05	30.53	30.58	28.12	28.29	28.77	28.71	27.81	24.97	25.07	27.8575	
1991	26.48	27.68	30.83	32.12	30.53	28.87	28.62	29.67	29.92	28.01	26.54	25.96	28.7691667	
1992	27.46	29.13	31	31.45	31.22	30.78	27.79	29.46	28.58	28.2	28.17	26.59	29.1525	
1993	28.01	30.69	31.37	32.13	29.62	28.44	28.04	28	27.89	28.13	27.04	26.82	28.8483333	
1994	26.58	28.28	31.2	31.54	30.32	28.56	28.8	29.77	29.15	28.55	27.19	27.35	28.9408333	
1995	28.23	29.49	31.5	31.76	31.06	30.08	28.79	29.76	28.67	28.2	26.72	26.69	29.2458333	
1996	25.84	27.71	28.81	31.11	29.23	30.52	28.05	28.38	29.68	28.32	25.48	26.51	28.3033333	
1997	27.07	28.04	30.12	32.08	31.93	29.05	29	29.89	29.58	27.91	27.02	27.2	29.0741667	
1998	28.68	31.33	30.09	32.74	31.78	29.93	28.6	29.62	29.22	26.85	26.25	25.79	29.24	
1999	25.88	27.3	29.12	31.99	30.48	29.29	27.88	29.41	28.53	27.09	25.19	26.27	28.2025	
2000	26.32	26.93	30.72	31.14	29.55	28.11	27.97	28.62	28.8	27.2	27.31	25.27	28.1616667	
2001	25.19	27.19	30.66	30.74	30.18	28.51	29.6	29.5	28.12	27.22	26.8	27.14	28.4041667	
2002	26.73	28.25	29.95	30.84	30.79	29.09	28	29.05	29.18	28.22	26.21	27.06	28.6141667	
2003	24.97	29.05	30.88	31.46	30.94	28.79	27.93	28.36	29.23	28.49	26.91	25.15	28.5133333	
2004	27.01	28.13	28.31	30.06	28.56	28.32	29.03	30.02	30.44	28.69	26.57	25.75	28.4075	
2005	26.21	29.1	31.7	31.96	29.36	29.01	28.93	28.91	28.35	26.23	25.7	26.74	28.5166667	
2006	25.56	26.82	30.01	30.81	31.52	28.16	28.31	29.28	30.02	29.03	26.23	25.95	28.475	
2007	27.12	28.74	28.76	31.27	30.58	29.13	29.02	29.21	28.51	27.93	24.65	26.33	28.4375	
2008	25.94	27.67	28.96	30.55	31.08	28.16	27.44	28.85	29.03	26.09	24.92	25.01	27.8083333	
2009	25.95	26.03	27.98	30.94	29.81	28.65	27.8	28.92	30.03	28.59	26.41	27.1	28.1841667	
2010	25.63	29.03	30.75	30.06	28.41	28.47	28.13	28.78	27.67	26.52	26.05	25.73	27.9358333	
2011	26.95	27.86	29.1	30.67	30.05	28.41	28.12	29.15	29.3	25.75	26.29	25.47	28.0933333	
2012	26.06	27.31	28.73	30	28.76	28.5	28.33	29.24	28.89	28.02	25.52	27.49	28.0708333	
2013	26.45	29.45	29.43	31.71	29.95	28.38	28.4	29	28.79	28.65	27.05	26.29	28.6291667	
2014	25.59	28.35	30.52	31.6	30.19	28.56	28.72	30.09	28.33	27.26	26.01	26.29	28.4591667	
2015	26.23	28	29.11	31.42	29.57	28.31	28.41	30.81	29.83	29.12	27.42	27.71	28.8283333	
2016	27.89	27.12	30.45	31.87	31.57	28.77	29.08	29.63	29.23	27.62	25.89	25.98	28.7583333	
2017	26.88	27.71	28.97	31.15	29.45	28.85	27.94	29.78	29.56	26.44	25.12	23.43	27.94	
2018	23.54	25.76	29.43	29.2	28.6	26.98	28.05	28.26	28.85	26.37	26.76	25.26	27.255	
2019	25.52	27.77	29.47	30.14	29.67	29	29.28	30.18	30.21	27.47	25.54	25.69	28.3283333	
2020	26.12	27.85	30.53	32.37	30.02	28.29	29.1	29.03	29.87	28.48	25.95	25.45	28.5883333	
2021	26.65	28	28.85	29.08	29.96	29.88	28.48	29.33	29.49	29.06	26.95	27.36	28.5908333	
2022														
TOTAL	870.5	925.3	984.4	1027.3	994.7	950.7	938.2	966.2	959.7	914.6	868.0	863.3	938.6	
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Máximo	28.7	31.3	31.7	32.7	31.9	30.8	29.6	30.8	30.4	29.1	28.2	27.7	29.2	
Mínimo	23.5	25.8	28.0	29.1	28.4	27.0	27.4	28.0	27.7	25.8	24.7	23.4	27.3	
MEDIA	26.4	28.0	29.8	31.1	30.1	28.8	28.4	29.3	29.1	27.7	26.3	26.2	28.4	
DESVEST	1.012	1.205	1.049	0.871	0.939	0.755	0.511	0.611	0.704	0.925	0.833	0.923	0.450	
CURTOSIS	1.276	1.075	-1.127	0.008	-0.613	1.525	-0.587	0.162	-0.696	-0.745	-0.453	0.803	0.250	
SESGO	-0.041	0.594	0.028	-0.507	0.055	0.739	0.341	0.085	-0.031	-0.454	-0.124	-0.560	-0.248	
													Promedio	28.4415152

Ilustración 31. Serie de tiempo de temperaturas máximas, Estación Tegucigalpa-Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Serie de Tiempo de Temperatura Mínimas

TEMPERATURA MAXIMA														
Nombre de Estación:	Batallón	Coordenadas GEO.				UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:				
Código		Long.		X	472275	Tipo:			DEPARTAMENTO:					
Organización:	SANAA	Lat.		Y	1555105									
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	14.95	13.74	14.83	17.2	17.56	17.33	17.22	17.31	17.51	16.67	16.66	14.43	16.2841667	
1990	15.21	15.1	16.14	17.94	17.86	18.14	17.37	17.72	17.35	17.26	16.83	15.59	16.8758333	
1991	15.36	14.9	15.95	18.04	18.35	18.11	17.63	17.67	17.49	16.82	16.14	15.69	16.8458333	
1992	14.91	15.34	16.32	17.79	17.77	18.23	17.22	17.07	17.24	16.94	16.9	15.95	16.8066667	
1993	15.16	15.51	16.07	17.9	18.36	18.05	17.23	17.44	17.22	17.14	15.9	15.08	16.755	
1994	14.76	15.06	15.69	17.35	18.02	17.4	17.4	17.63	17.73	16.84	16.26	15.82	16.6633333	
1995	15.13	15.11	16.33	18.03	17.44	17.98	17.59	18.01	17.71	17.44	16.65	16.16	16.965	
1996	13.99	14.82	14.87	17.97	17.95	17.82	17.44	16.99	17.58	17.41	16.19	15.11	16.5116667	
1997	14.88	15.1	16.02	17.42	18.03	17.73	17.86	17.9	17.92	17.3	17.41	14.79	16.8633333	
1998	15.87	15.57	16.65	18.28	18.56	18.26	17.47	17.87	18.09	17.83	16.74	15.4	17.2158333	
1999	14.96	14.84	15.53	17.21	17.41	17.41	16.72	17.32	17.39	16.6	14.68	14.56	16.2191667	
2000	13.86	14.38	15.65	16.75	17.74	17.3	16.88	17.32	17.33	16.71	16.68	15.36	16.33	
2001	14.39	15.06	14.97	17.09	18.05	17.08	17.25	17.98	17.11	17.18	15.68	16.18	16.5016667	
2002	15.08	15.57	16.02	17.4	18.03	17.93	17.56	17.19	17.57	17.24	16.03	16.32	16.8283333	
2003	14.91	16.12	16.6	17.35	18.53	17.87	17.4	17.32	17.55	17.72	16.89	14.86	16.9266667	
2004	14.73	15.55	16.29	16.93	18.03	17.62	17.19	17.83	17.75	17.53	16.2	15.41	16.755	
2005	14.37	14.92	17.93	18.03	18.29	18.47	17.96	17.91	17.87	17.11	15.78	15.89	17.0441667	
2006	15.2	14.58	15.52	17.19	18.06	18.12	17.87	17.87	17.62	17.91	15.75	16.39	16.84	
2007	15.72	15.2	16.32	18	18.13	17.78	17.43	17.5	17.41	16.79	15.87	14.74	16.7408333	
2008	14.94	15.61	15.99	17.07	17.96	17.65	17.21	17.36	17.75	17.29	14.58	15.18	16.5491667	
2009	14.83	14.84	14.73	17.25	17.66	17.84	17.85	17.83	17.89	17.06	16.38	15.66	16.6516667	
2010	14.93	16.4	16.54	18.3	18.56	18.24	18.05	17.91	17.93	16.36	15.32	13.63	16.8475	
2011	15.3	15.55	15.54	17.14	18.11	17.97	17.73	17.74	17.63	16.66	15.78	15.06	16.6841667	
2012	15.08	15.85	15.79	17.02	17.99	17.92	17.41	17.77	17.2	16.92	15.28	15.49	16.6433333	
2013	15.68	15.71	15.9	18.27	18	17.99	17.54	17.5	17.77	17.57	16.81	15.99	17.0608333	
2014	14.7	15.78	16.61	17.68	18.13	18.17	17.59	17.79	17.57	17.35	16.08	15.39	16.9033333	
2015	15.28	15.08	16.5	18.01	18.08	18.46	17.71	18	18.33	17.97	17.53	17.12	17.3391667	
2016	15.22	15.14	17.4	18.82	19	18.08	17.83	18.16	17.78	17.5	16.57	16.48	17.3316667	
2017	14.82	15.68	16.23	17.93	18.41	18.39	17.83	17.79	18.17	17.8	16.04	15.53	17.0516667	
2018	14.72	15.21	16.02	17.67	18.17	17.71	17.7	17.58	17.85	17.49	16.72	15.12	16.83	
2019	15.57	15.82	16.17	17.86	18.88	18.5	17.64	18.11	18.26	17.47	16.98	16.07	17.2775	
2020	15.84	16.08	16.67	18.1	18.99	18.18	17.58	17.96	17.77	17.65	17.31	15.33	17.2883333	
2021	15.92	15.03	15.93	17.39	17.89	18.17	17.88	17.91	17.59	17.67	16.48	15.91	16.9808333	
2022														
TOTAL	496.3	504.3	529.7	582.4	598.0	591.9	578.2	583.3	582.9	569.2	537.1	511.7	522.1	
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Máximo	15.9	16.4	17.9	18.8	19.0	18.5	18.1	18.2	18.3	18.0	17.5	17.1	17.3	
Mínimo	13.9	14.4	14.7	16.8	17.4	17.1	16.7	17.0	17.1	16.4	14.6	13.6	16.2	
MEDIA	15.0	15.3	16.1	17.7	18.1	18.0	17.5	17.7	17.7	17.3	16.3	15.5	16.8	
DESVEST	0.493	0.465	0.647	0.489	0.384	0.345	0.305	0.304	0.305	0.412	0.709	0.669	0.273	
CURTOSIS	0.364	-0.260	1.701	-0.581	0.469	0.189	0.509	-0.390	-0.246	-0.642	0.226	1.328	0.041	
SESGO	-0.283	0.264	0.364	0.104	0.548	-0.634	-0.656	-0.665	0.227	-0.273	-0.480	-0.318	-0.077	
													Promedio	16.8306566

Ilustración 32. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Batallón.
Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MINIMAS														
Nombre de Estación:	Concepción			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm		CUENCA:			
Código				Long.	X		471171	Tipo:	DEPARTAMENTO:					
Organización:	SANAA			Lat.	Y		1546175							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	15.58	14.41	15.46	17.86	18.06	17.79	17.72	17.74	17.91	17.13	17.16	15.08	16.825	
1990	15.87	15.73	16.82	18.54	18.36	18.63	17.88	18.23	17.8	17.71	17.35	16.16	17.4233333	
1991	15.95	15.57	16.56	18.6	18.81	18.55	18.15	18.18	17.93	17.25	16.7	16.25	17.375	
1992	15.52	15.93	16.94	18.41	18.43	18.64	17.72	17.57	17.7	17.43	17.38	16.5	17.3475	
1993	15.75	16.1	16.69	18.37	18.79	18.47	17.76	17.98	17.64	17.57	16.46	15.66	17.27	
1994	15.38	15.72	16.33	17.97	18.45	17.87	17.95	18.12	18.16	17.27	16.78	16.42	17.2016667	
1995	15.76	15.79	16.98	18.54	17.92	18.38	18.06	18.38	18.11	17.85	17.16	16.74	17.4725	
1996	14.67	15.47	15.56	18.54	18.43	18.25	17.86	17.47	17.97	17.84	16.71	15.67	17.0366667	
1997	15.51	15.82	16.68	17.99	18.59	18.15	18.43	18.49	18.38	17.77	17.93	15.43	17.4308333	
1998	16.48	16.11	17.32	18.84	19.06	18.73	17.98	18.35	18.45	18.22	17.21	16.01	17.73	
1999	15.64	15.5	16.24	17.82	17.86	17.84	17.24	17.77	17.76	17.04	15.28	15.18	16.7641667	
2000	14.52	15.02	16.3	17.38	18.22	17.82	17.42	17.81	17.75	17.17	17.21	16.04	16.8883333	
2001	15.06	15.78	15.67	17.77	18.6	17.6	17.76	18.46	17.52	17.65	16.27	16.78	17.0766667	
2002	15.76	16.25	16.72	18.06	18.65	18.35	18.1	17.78	17.99	17.71	16.63	16.91	17.4091667	
2003	15.62	16.74	17.17	17.95	19	18.26	17.9	17.83	17.98	18.16	17.42	15.53	17.4633333	
2004	15.33	16.21	17.02	17.56	18.57	18.13	17.7	18.3	18.15	17.95	16.73	16.04	17.3075	
2005	15.07	15.53	18.46	18.57	18.77	18.87	18.39	18.37	18.31	17.57	16.35	16.47	17.5608333	
2006	15.86	15.29	16.19	17.83	18.52	18.53	18.37	18.28	18.04	18.37	16.31	16.99	17.3816667	
2007	16.38	15.8	16.99	18.54	18.62	18.22	17.92	17.91	17.83	17.24	16.48	15.37	17.275	
2008	15.58	16.23	16.59	17.62	18.4	18.08	17.66	17.81	18.13	17.73	15.28	15.84	17.0791667	
2009	15.49	15.52	15.44	17.86	18.17	18.27	18.36	18.33	18.36	17.54	16.95	16.27	17.2133333	
2010	15.58	17.16	17.2	18.87	19.03	18.64	18.46	18.33	18.29	16.93	15.89	14.25	17.3858333	
2011	15.92	16.2	16.19	17.72	18.61	18.42	18.16	18.16	18.04	17.13	16.37	15.69	17.2175	
2012	15.77	16.48	16.47	17.61	18.41	18.34	17.96	18.25	17.69	17.42	15.96	16.11	17.2058333	
2013	16.35	16.34	16.57	18.83	18.44	18.44	18.03	18	18.15	17.99	17.33	16.59	17.5883333	
2014	15.43	16.43	17.24	18.34	18.64	18.64	18.21	18.31	18	17.81	16.69	16.02	17.48	
2015	16	15.83	17.19	18.62	18.7	19	18.33	18.62	18.8	18.42	18	17.71	17.935	
2016	15.92	15.86	18.1	19.42	19.46	18.53	18.36	18.62	18.24	18.01	17.08	17.05	17.8875	
2017	15.51	16.29	16.96	18.5	18.88	18.8	18.36	18.27	18.59	18.24	16.62	16.21	17.6025	
2018	15.47	15.91	16.72	18.26	18.64	18.21	18.3	18.13	18.31	17.93	17.31	15.82	17.4175	
2019	16.21	16.5	16.92	18.5	19.32	18.98	18.22	18.61	18.68	17.89	17.53	16.74	17.8416667	
2020	16.54	16.77	17.33	18.57	19.47	18.6	18.09	18.42	18.18	18.12	17.77	15.92	17.815	
2021	16.52	15.72	16.61	17.98	18.44	18.62	18.41	18.39	18.04	18.12	17.08	16.57	17.5416667	
2022														
TOTAL	502.4	511.6	536.2	584.0	596.3	588.9	577.5	581.5	579.0	567.1	538.2	516.9	556.6	
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Máximo	16.5	17.2	18.5	19.4	19.5	19.0	18.5	18.6	18.8	18.4	18.0	17.7	17.9	
Mínimo	14.5	14.4	15.4	17.4	17.9	17.6	17.2	17.5	17.5	16.9	15.3	14.3	16.8	
MEDIA	15.7	15.9	16.7	18.2	18.6	18.4	18.0	18.2	18.1	17.7	16.8	16.1	17.4	
DESVEST	0.484	0.463	0.629	0.469	0.375	0.336	0.306	0.301	0.304	0.398	0.666	0.657	0.274	
CURTOSIS	0.420	0.231	1.394	-0.305	0.604	-0.028	0.158	-0.315	-0.082	-0.766	0.229	1.488	0.125	
SESGO	-0.302	0.389	0.303	0.161	0.402	-0.403	-0.696	-0.604	0.322	-0.208	-0.478	-0.360	-0.024	
													Promedio	17.3772727

Ilustración 33. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Concepción.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MINIMA													
Nombre de Estación: Escarbaderos			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:		msnm		CUENCA:		
Código			Long. -87°23'33"		X 457632.334		Tipo:		DEPARTAMENTO:				
Organización: SANAA			Lat. 14°06'12"		Y 1559189.87								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual
1989	15.16	13.86	14.65	17.14	17.4	17.24	17.22	17.23	17.44	16.64	16.74	14.46	16.265
1990	15.44	15.12	16.2	17.9	17.71	18.14	17.4	17.73	17.41	17.23	16.72	15.61	16.8841667
1991	15.45	15.04	15.8	17.85	18.22	18.05	17.64	17.73	17.45	16.8	16.18	15.82	16.8358333
1992	15.07	15.36	16.38	17.73	17.6	18.03	17.22	17.1	17.21	17.05	16.86	15.95	16.7966667
1993	15.26	15.35	15.85	17.73	18.1	17.86	17.31	17.46	17.19	17.19	16	15.21	16.7091667
1994	14.85	15.23	15.62	17.37	17.93	17.27	17.45	17.63	17.69	16.77	16.23	15.83	16.6558333
1995	15.14	15.13	16.18	17.8	17.23	17.82	17.62	17.87	17.63	17.31	16.77	16.28	16.8983333
1996	14.12	14.87	14.77	17.83	17.86	17.76	17.43	17.02	17.46	17.34	16.15	15.33	16.495
1997	15	15.26	16.07	17.36	17.89	17.59	17.93	17.98	17.88	17.25	17.39	14.72	16.86
1998	15.94	15.39	16.55	17.95	18.32	18.19	17.48	17.84	17.87	17.72	16.81	15.54	17.1333333
1999	15.05	15.03	15.66	17.17	17.31	17.28	16.79	17.24	17.19	16.5	14.69	14.58	16.2075
2000	14	14.43	15.78	16.66	17.52	17.24	16.96	17.29	17.2	16.7	16.78	15.39	16.3291667
2001	14.32	15.22	14.71	17.08	17.8	17.04	17.19	17.91	16.95	17.18	15.6	16.27	16.4391667
2002	15.17	15.67	15.93	17.37	18	17.81	17.63	17.36	17.4	17.24	15.99	16.3	16.8225
2003	14.84	16.15	16.41	16.99	18.31	17.67	17.42	17.41	17.39	17.64	16.9	14.75	16.8233333
2004	14.71	15.5	16.33	16.65	17.97	17.54	17.16	17.75	17.52	17.45	16.23	15.39	16.6833333
2005	14.38	14.87	17.71	17.72	18.08	18.3	17.83	17.87	17.89	16.92	15.67	15.94	16.9316667
2006	15.24	14.7	15.51	17	17.87	18.02	17.88	17.83	17.55	17.79	15.78	16.37	16.795
2007	15.89	15.17	16.29	17.84	17.86	17.66	17.39	17.44	17.32	16.67	15.88	14.81	16.685
2008	15.03	15.59	15.87	16.87	17.69	17.57	17.12	17.26	17.58	17.23	14.52	15.28	16.4675
2009	14.98	14.94	14.68	17.02	17.51	17.69	17.89	17.86	17.82	17.06	16.4	15.68	16.6275
2010	14.91	16.31	16.24	18.16	18.49	18.1	17.92	17.82	17.76	16.32	15.41	13.66	16.7583333
2011	15.34	15.57	15.35	16.92	17.88	17.78	17.68	17.74	17.55	16.58	15.81	15.18	16.615
2012	15.25	15.97	15.87	16.81	17.83	17.81	17.51	17.65	17.24	16.9	15.31	15.43	16.6316667
2013	15.75	15.76	15.74	18.04	17.75	17.89	17.53	17.48	17.6	17.56	16.78	16.01	16.9908333
2014	14.77	15.88	16.69	17.63	17.95	18.07	17.7	17.79	17.42	17.36	16.04	15.45	16.8958333
2015	15.41	15.18	16.54	17.9	18.18	18.47	17.83	18.19	18.21	17.9	17.57	17.13	17.3758333
2016	15.26	15.07	17.45	18.66	18.75	18.01	17.91	18.11	17.71	17.4	16.56	16.51	17.2833333
2017	14.83	15.69	16.13	17.8	18.22	18.21	17.91	17.74	17.98	17.73	16.01	15.6	16.9875
2018	14.76	15.35	16.04	17.43	17.9	17.63	17.81	17.61	17.82	17.52	16.75	15.14	16.8133333
2019	15.58	15.92	16.09	17.72	18.61	18.34	17.36	18.02	18.06	17.37	17.07	16.05	17.1825
2020	15.79	16.09	16.71	17.88	18.79	18.06	17.58	17.88	17.57	17.54	17.27	15.44	17.2166667
2021	15.99	15.03	15.89	17.29	17.86	17.99	17.81	17.79	17.47	17.51	16.4	15.98	16.9175
2022													
TOTAL	498.7	154.8	160.3	172.0	179.5	178.1	175.8	176.6	175.6	170.6	157.9	152.5	167.0
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Máximo	16.0	16.3	17.7	18.7	18.8	18.5	17.9	18.2	18.2	17.9	17.6	17.1	17.4
Mínimo	14.0	13.9	14.7	16.7	17.2	17.0	16.8	17.0	17.0	16.3	14.5	13.7	16.2
MEDIA	15.1	15.3	16.0	17.5	18.0	17.8	17.5	17.7	17.6	17.2	16.3	15.5	16.8
DESVEST	0.490	0.509	0.688	0.480	0.377	0.349	0.301	0.294	0.284	0.406	0.709	0.686	0.278
CURTOSIS	0.056	1.048	0.965	-0.446	0.145	-0.324	-0.366	-0.531	-0.165	-0.675	0.317	0.942	0.017
SESGO	-0.265	-0.409	0.041	0.040	0.390	-0.406	-0.494	-0.448	0.216	-0.345	-0.538	-0.365	-0.038
													Promedio 16.7882828

Ilustración 34. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Escarbaderos.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MINIMA														
Nombre de Estación:	La Brea			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:	msnm		CUENCA:			
Código				Long.	X	457743.083	Tipo:	DEPARTAMENTO:						
Organización:	SANAA			Lat.	Y	1553659.77								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	15.62	14.35	15.1	17.6	17.73	17.53	17.52	17.48	17.69	16.95	17.09	14.89	16.6291667	
1990	15.92	15.58	16.69	18.32	18.04	18.46	17.72	18.04	17.66	17.54	17.11	16.01	17.2575	
1991	15.85	15.51	16.22	18.23	18.52	18.33	17.98	18.05	17.72	17.07	16.57	16.22	17.1891667	
1992	15.48	15.76	16.81	18.15	18.07	18.31	17.55	17.4	17.5	17.34	17.16	16.34	17.1558333	
1993	15.67	15.79	16.29	18.06	18.4	18.15	17.66	17.81	17.45	17.47	16.4	15.64	17.0658333	
1994	15.3	15.68	16.09	17.79	18.21	17.57	17.8	17.93	17.96	17.04	16.6	16.29	17.0216667	
1995	15.6	15.61	16.64	18.16	17.54	18.07	17.91	18.11	17.89	17.59	17.14	16.7	17.2466667	
1996	14.57	15.35	15.26	18.23	18.18	18.04	17.71	17.32	17.71	17.64	16.54	15.75	16.8583333	
1997	15.44	15.76	16.55	17.76	18.27	17.87	18.33	18.38	18.17	17.58	17.75	15.15	17.2508333	
1998	16.36	15.79	17.02	18.36	18.65	18.49	17.79	18.14	18.11	17.99	17.16	15.99	17.4875	
1999	15.52	15.5	16.15	17.61	17.62	17.56	17.12	17.53	17.43	16.81	15.12	15.05	16.585	
2000	14.46	14.9	16.21	17.11	17.84	17.58	17.31	17.62	17.46	17.05	17.15	15.89	16.715	
2001	14.82	15.74	15.21	17.56	18.19	17.39	17.51	18.23	17.21	17.51	16.01	16.71	16.8408333	
2002	15.65	16.15	16.44	17.85	18.45	18.1	18	17.73	17.67	17.55	16.4	16.74	17.2275	
2003	15.36	16.6	16.83	17.45	18.6	17.93	17.77	17.73	17.66	17.94	17.28	15.24	17.1991667	
2004	15.15	15.98	16.85	17.1	18.33	17.88	17.48	18.05	17.8	17.74	16.6	15.85	17.0675	
2005	14.89	15.35	18.07	18.11	18.4	18.57	18.13	18.19	18.18	17.25	16.11	16.37	17.3016667	
2006	15.73	15.21	16.01	17.46	18.18	18.29	18.21	18.13	17.81	18.11	16.16	16.81	17.1758333	
2007	16.37	15.6	16.79	18.23	18.21	17.96	17.7	17.7	17.6	16.97	16.33	15.27	17.0608333	
2008	15.49	16.04	16.31	17.27	18	17.86	17.42	17.55	17.83	17.54	15.02	15.76	16.8408333	
2009	15.45	15.44	15.2	17.48	17.85	17.97	18.24	18.18	18.11	17.34	16.77	16.09	17.01	
2010	15.36	16.83	16.73	18.55	18.81	18.37	18.2	18.09	18.01	16.75	15.81	14.13	17.1366667	
2011	15.79	16.05	15.84	17.32	18.22	18.09	17.97	18	17.81	16.92	16.24	15.66	16.9925	
2012	15.74	16.43	16.36	17.22	18.11	18.09	17.88	17.95	17.53	17.24	15.81	15.88	17.02	
2013	16.23	16.2	16.24	18.43	18.05	18.2	17.85	17.79	17.85	17.83	17.14	16.45	17.355	
2014	15.27	16.34	17.13	18.09	18.29	18.38	18.1	18.12	17.7	17.66	16.48	15.91	17.2891667	
2015	15.93	15.69	17.03	18.34	18.6	18.84	18.23	18.59	18.52	18.2	17.89	17.54	17.7833333	
2016	15.71	15.59	17.91	19.07	19.06	18.31	18.24	18.41	18.01	17.77	16.94	16.92	17.6616667	
2017	15.31	16.13	16.67	18.22	18.54	18.49	18.25	18.05	18.26	18.03	16.46	16.1	17.3758333	
2018	15.29	15.85	16.55	17.85	18.23	17.95	18.2	17.96	18.1	17.8	17.16	15.63	17.2141667	
2019	16.06	16.39	16.65	18.18	18.92	18.66	17.99	18.31	18.32	17.64	17.46	16.52	17.5916667	
2020	16.3	16.58	17.2	18.24	19.13	18.35	17.89	18.18	17.85	17.86	17.59	15.87	17.5866667	
2021	16.43	15.48	16.38	17.69	18.22	18.29	18.17	18.1	17.76	17.8	16.85	16.43	17.3	
2022														
TOTAL	514.1	521.3	543.4	591.1	603.5	597.9	589.8	592.9	588.3	577.5	550.3	527.8	566.5	
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Máximo	16.4	16.8	18.1	19.1	19.1	18.8	18.3	18.6	18.5	18.2	17.9	17.5	17.8	
Mínimo	14.5	14.9	15.2	17.1	17.5	17.4	17.1	17.3	17.2	16.8	15.0	14.1	16.6	
MEDIA	15.6	15.8	16.5	17.9	18.3	18.1	17.9	18.0	17.8	17.5	16.7	16.0	17.2	
DESVEST	0.486	0.505	0.675	0.465	0.376	0.348	0.311	0.303	0.290	0.393	0.674	0.674	0.280	
CURTOSIS	0.113	1.117	0.794	-0.286	0.176	-0.315	-0.447	-0.308	-0.053	-0.838	0.349	0.988	0.102	
SESGO	-0.269	-0.349	-0.049	0.057	0.298	-0.245	-0.503	-0.351	0.263	-0.260	-0.551	-0.393	0.007	
													Promedio	17.1664646

Ilustración 35. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación La Brea

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MINIMA														
Nombre de Estación: Las Sabanas			Coordenadas GEO.			UTM		Elevación:	msnm	CUENCA:				
Código			Long.	X	463513.8	Tipo:		DEPARTAMENTO:						
Organización: SANAA			Lat.	Y	1550605.7									
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	15.54	14.3	15.18	17.63	17.79	17.57	17.53	17.52	17.72	16.96	17.06	14.9	16.6416667	
1990	15.83	15.58	16.66	18.33	18.1	18.46	17.72	18.05	17.65	17.55	17.14	16.01	17.2566667	
1991	15.83	15.47	16.3	18.31	18.57	18.36	17.99	18.04	17.74	17.08	16.57	16.18	17.2033333	
1992	15.44	15.76	16.79	18.17	18.14	18.38	17.56	17.41	17.52	17.32	17.19	16.35	17.1691667	
1993	15.64	15.86	16.38	18.12	18.5	18.22	17.64	17.82	17.47	17.45	16.37	15.59	17.0883333	
1994	15.26	15.63	16.12	17.79	18.24	17.63	17.8	17.94	17.98	17.08	16.61	16.29	17.0308333	
1995	15.61	15.61	16.7	18.23	17.62	18.13	17.91	18.16	17.92	17.64	17.09	16.65	17.2725	
1996	14.53	15.33	15.31	18.28	18.21	18.07	17.71	17.32	17.76	17.67	16.55	15.67	16.8675	
1997	15.4	15.71	16.53	17.78	18.33	17.91	18.3	18.35	18.18	17.6	17.76	15.2	17.2541667	
1998	16.35	15.86	17.05	18.48	18.73	18.52	17.8	18.16	18.19	18.02	17.12	15.94	17.5183333	
1999	15.5	15.43	16.12	17.62	17.64	17.61	17.1	17.56	17.5	16.85	15.12	15.03	16.59	
2000	14.41	14.88	16.18	17.15	17.93	17.61	17.3	17.64	17.51	17.05	17.12	15.88	16.7216667	
2001	14.84	15.69	15.33	17.57	18.29	17.41	17.55	18.26	17.27	17.51	16.05	16.67	16.87	
2002	15.62	16.11	16.48	17.86	18.46	18.14	17.97	17.68	17.74	17.56	16.43	16.75	17.2333333	
2003	15.39	16.59	16.9	17.58	18.69	18	17.76	17.7	17.73	17.97	17.27	15.28	17.2383333	
2004	15.15	16.01	16.83	17.2	18.35	17.92	17.51	18.09	17.85	17.77	16.6	15.86	17.095	
2005	14.89	15.36	18.16	18.23	18.48	18.63	18.18	18.2	18.17	17.31	16.15	16.35	17.3425	
2006	15.71	15.17	16.01	17.54	18.25	18.33	18.21	18.13	17.84	18.15	16.16	16.81	17.1925	
2007	16.32	15.62	16.8	18.29	18.31	18.01	17.73	17.72	17.63	17.01	16.33	15.25	17.085	
2008	15.45	16.05	16.35	17.34	18.1	17.89	17.45	17.59	17.89	17.56	15.04	15.72	16.8691667	
2009	15.39	15.4	15.22	17.57	17.91	18.03	18.23	18.18	18.14	17.35	16.78	16.09	17.0241667	
2010	15.37	16.88	16.84	18.6	18.83	18.42	18.24	18.12	18.06	16.75	15.78	14.11	17.1666667	
2011	15.78	16.04	15.91	17.42	18.31	18.16	17.99	18	17.84	16.94	16.23	15.61	17.0191667	
2012	15.68	16.38	16.33	17.31	18.16	18.13	17.85	18.01	17.53	17.25	15.8	15.91	17.0283333	
2013	16.21	16.19	16.3	18.25	18.14	18.23	17.85	17.81	17.91	17.84	17.15	16.44	17.36	
2014	15.25	16.31	17.11	18.12	18.36	18.42	18.07	18.13	17.75	17.66	16.49	15.89	17.2966667	
2015	15.88	15.67	17.02	18.38	18.57	18.84	18.2	18.52	18.57	15.23	17.88	17.54	17.525	
2016	15.72	15.62	17.91	19.13	19.15	18.33	18.22	18.43	18.04	17.8	16.94	16.91	17.6833333	
2017	15.31	16.13	16.71	18.26	18.61	18.55	18.23	18.07	18.33	18.05	16.47	16.07	17.3991667	
2018	15.27	15.81	16.55	17.94	18.33	17.99	18.17	17.96	18.12	17.79	17.16	15.63	17.2266667	
2019	16.06	16.37	16.68	18.23	19.01	18.73	18.02	18.36	18.41	17.68	17.43	16.54	17.6266667	
2020	16.32	16.58	17.18	18.3	19.2	18.39	17.91	18.21	17.92	17.9	17.61	15.83	17.6125	
2021	16.4	15.5	16.4	17.72	18.23	18.35	18.21	18.15	17.81	17.87	16.88	16.42	17.3283333	
2022														
TOTAL	282.2	287.1	300.3	323.8	332.3	329.4	324.3	325.7	323.8	313.9	298.9	289.0	532.9	
N	32	32	32	32	32	31	31	31	31	31	31	31	31	
Máximo	16.4	16.9	18.2	19.1	19.2	18.8	18.2	18.5	18.6	18.2	17.9	17.5	17.7	
Mínimo	14.4	14.9	15.2	17.2	17.6	17.4	17.1	17.3	17.3	15.2	15.0	14.1	16.6	
MEDIA	15.6	15.8	16.5	18.0	18.3	18.2	17.9	18.0	17.9	17.4	16.7	16.0	17.2	
DESVEST	0.450	0.463	0.684	0.519	0.368	0.277	0.251	0.232	0.268	0.676	0.710	0.734	0.235	
CURTOSIS	-1.000	-0.604	1.100	-0.309	-0.108	-0.660	0.380	0.516	0.059	6.299	0.120	2.333	-0.802	
SESGO	0.181	0.166	0.255	0.205	0.852	0.304	-1.142	-0.359	0.505	-2.216	-0.206	-0.588	0.257	
													Promedio	17.1768687

Ilustración 36. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Las Sabanas.

Fuente: Elaboración propia.

TEMPERATURA MINIMA														
Nombre de Estación: Rincón de Dolores			Coordenadas GEO.		UTM		Elevación:		msnm		CUENCA:			
Código			Long.	-87°23'34"	X	457602.246	Tipo:		DEPARTAMENTO:					
Organización: SANAA			Lat.	14°06'10"	Y	1559128.48								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	14.82	13.49	14.3	16.78	17.15	17.02	16.99	17.04	17.24	16.4	16.49	14.12	15.9866667	
1990	15.08	14.77	15.83	17.58	17.46	17.9	17.16	17.48	17.22	16.98	16.42	15.3	16.5983333	
1991	15.14	14.68	15.48	17.55	17.98	17.83	17.38	17.49	17.24	16.59	15.87	15.52	16.5625	
1992	14.75	15.05	16.05	17.41	17.22	17.81	16.97	16.87	16.99	16.82	16.62	15.65	16.5175	
1993	14.94	15.01	15.5	17.48	17.85	17.63	17.04	17.19	16.99	16.97	15.69	14.89	16.4316667	
1994	14.52	14.88	15.27	17.04	17.72	17.03	17.18	17.4	17.47	16.56	15.94	15.49	16.375	
1995	14.79	14.76	15.83	17.52	16.98	17.61	17.39	17.68	17.42	17.09	16.49	15.97	16.6275	
1996	13.78	14.51	14.39	17.52	17.62	17.55	17.22	16.79	17.27	17.1	15.85	15.02	16.2183333	
1997	14.68	14.88	15.7	17.05	17.6	17.37	17.64	17.68	17.66	17	17.11	14.38	16.5625	
1998	15.62	15.07	16.19	17.62	18.06	17.96	17.24	17.61	17.67	17.51	16.55	15.2	16.8583333	
1999	14.69	14.69	15.29	16.84	17.08	17.07	16.55	17.01	16.99	16.26	14.35	14.23	15.9208333	
2000	13.64	14.08	15.45	16.31	17.26	16.98	16.69	17.04	16.99	16.43	16.51	15	16.0316667	
2001	13.94	14.83	14.32	16.71	17.49	16.77	16.94	17.66	16.75	16.93	15.27	15.94	16.1291667	
2002	14.8	15.31	15.54	17	17.66	17.59	17.35	17.09	17.18	17	15.67	15.97	16.5133333	
2003	14.44	15.8	16.09	16.64	18.07	17.45	17.16	17.17	17.17	17.4	16.62	14.37	16.5316667	
2004	14.38	15.13	15.93	16.29	17.69	17.27	16.92	17.53	17.3	17.24	15.94	15.03	16.3875	
2005	14	14.51	17.43	17.41	17.83	18.08	17.6	17.63	17.67	16.67	15.34	16.61	16.7316667	
2006	14.86	14.31	15.14	16.64	17.64	17.8	17.63	17.61	17.34	17.54	15.49	16.04	16.5033333	
2007	15.54	14.84	15.91	17.53	17.58	17.43	17.15	17.23	17.11	16.43	15.54	14.46	16.3958333	
2008	14.69	15.24	15.53	16.56	17.45	17.34	16.88	17.04	17.38	16.99	14.13	14.92	16.1791667	
2009	14.62	14.57	14.29	16.66	17.24	17.46	17.62	17.61	17.59	16.85	16.11	15.37	16.3325	
2010	14.56	15.91	15.85	17.86	18.25	17.89	17.7	17.6	17.57	16	15.11	13.3	16.4666667	
2011	14.99	15.21	14.97	16.6	17.61	17.54	17.46	17.53	17.33	16.32	15.47	14.82	16.3208333	
2012	14.89	15.62	15.49	16.48	17.61	17.59	17.24	17.41	17.01	16.65	14.94	15.08	16.3341667	
2013	15.39	15.42	15.35	17.74	17.52	17.65	17.28	17.25	17.41	17.35	16.5	15.68	16.7116667	
2014	14.39	15.52	16.35	17.27	17.69	17.83	17.4	17.55	17.2	17.12	15.71	15.1	16.5941667	
2015	15.02	14.79	16.17	17.57	17.86	18.18	17.52	17.9	17.97	17.67	17.32	16.83	17.0666667	
2016	14.91	14.67	17.09	18.34	18.5	17.78	17.67	17.88	17.48	17.12	16.27	16.21	16.9933333	
2017	14.48	15.36	15.72	17.48	17.97	17.99	17.65	17.5	17.76	17.49	15.66	15.23	16.6908333	
2018	14.36	14.96	15.65	17.11	17.63	17.37	17.51	17.34	17.6	17.31	16.44	14.75	16.5025	
2019	15.21	15.56	15.67	17.36	18.35	18.09	17.35	17.79	17.85	17.17	16.78	15.68	16.905	
2020	15.41	15.71	16.34	17.61	18.53	17.84	17.35	17.66	17.36	17.28	17.02	15.13	16.9366667	
2021	15.67	14.68	15.51	16.98	17.58	17.76	17.53	17.54	17.25	17.27	16.06	15.64	16.6225	
2022														
TOTAL	281.8	287.8	300.5	326.1	338.6	336.3	330.6	332.8	331.4	323.9	302.5	290.3	315.2	
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
Máximo	15.7	15.9	17.4	18.3	18.5	18.2	17.7	17.9	18.0	17.7	17.3	16.8	17.1	
Mínimo	14.0	14.3	14.3	16.3	17.2	17.3	16.9	17.0	17.0	16.0	14.1	13.3	16.2	
MEDIA	14.8	15.0	15.6	17.2	17.7	17.6	17.3	17.4	17.3	17.0	16.0	15.2	16.5	
DESVEST	0.459	0.479	0.710	0.561	0.364	0.275	0.245	0.231	0.256	0.449	0.781	0.826	0.252	
CURTOSIS	-0.724	-1.189	1.265	-0.742	-0.326	-1.098	-0.125	-0.175	-0.366	0.154	0.202	0.880	-0.694	
SESGO	0.243	-0.101	0.348	0.209	0.740	0.112	-0.810	-0.308	0.415	-0.896	-0.281	-0.194	0.434	
													Promedio	16.5012121

Ilustración 38. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Rincón de Dolores.

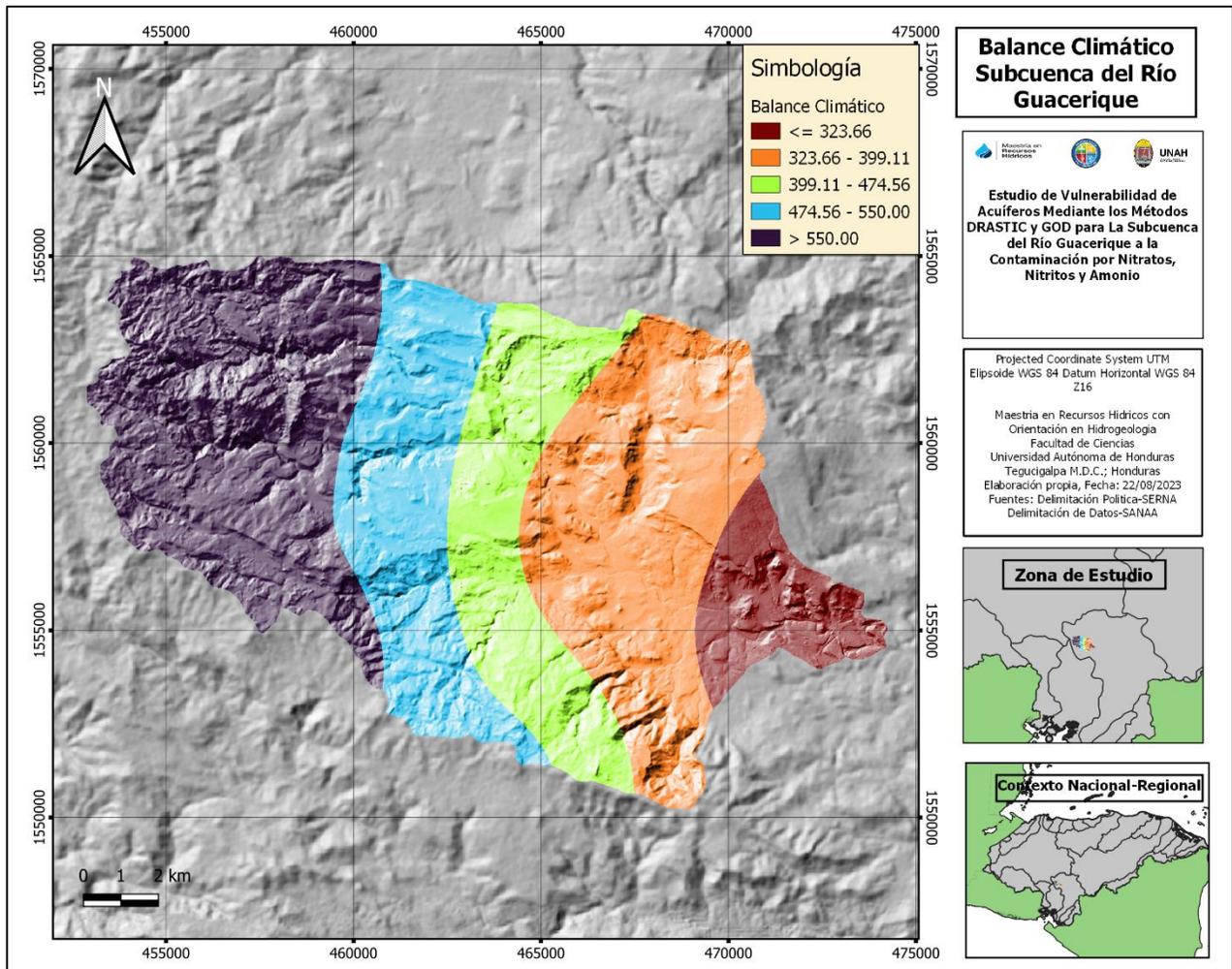
Fuente: Elaboración propia.

Temperatura Minima														
Nombre de Estación:	SMN	Coordenadas GEO.			UTM		Elevación:	1000	msnm	CUENCA:				
Código:		Long.	87-13-10	X	476308	Tipo:	OMM	DEPARTAMENTO:						
Organización:	SMN	Lat.	14-3-31	Y	1554124									
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media-Anual	
1989	14.9	14.45	14.49	16.68	17.17	17.6	17.69	17.33	18.07	17.2	16.81	13.89	16.3566667	
1990	15.43	14.7	15.95	18.06	18.28	18.66	17.34	17.97	17.73	16.81	17.35	15.79	17.0058333	
1991	14.75	14.01	14.41	17.05	17.61	18.3	18.06	17.66	17.73	16.95	16.19	15.64	16.53	
1992	13.48	14.52	14.93	18.19	17.37	18.57	17.54	16.81	17.44	16.25	15.81	15.55	16.3716667	
1993	14.25	14.05	14.81	17.4	18.06	17.98	17.71	18.06	17.1	17.36	15.6	13.8	16.3483333	
1994	13.87	14.39	14.7	17.18	18.24	17.52	16.99	17.22	17.54	17.04	15.65	15.03	16.2808333	
1995	13.86	13.78	14.73	17.3	16.86	18.09	17.66	18.14	17.93	17.55	16.39	16.28	16.5475	
1996	11.9	12.99	12.81	16.47	18.5	17.09	17.09	16.92	16.9	17.34	15.67	13.84	15.6266667	
1997	13.53	14.31	15.71	16.22	17.56	17.92	18.94	18.58	17.71	17.52	17.24	13.65	16.5741667	
1998	14.88	14.42	16.93	18.12	18.56	18.9	17.94	17.95	17.97	18.73	17.68	15.54	17.3016667	
1999	14.88	13.65	14.96	16.66	17.41	17.33	17.2	17.45	17.97	16.76	14.49	14.49	16.1041667	
2000	12.99	12.93	14.09	15.76	18.38	17.77	17.25	17.95	17.64	17.66	16.29	16	16.2258333	
2001	14.6	15.81	14.33	16.65	18.71	17.14	17.57	18.25	17.27	17.93	15.71	16.08	16.6708333	
2002	14.72	15.8	15.46	17.64	18.82	18.75	18.69	18.11	17.71	17.47	16.47	16.13	17.1475	
2003	15.55	16.55	16.4	16.72	18.69	18.6	18.1	17.65	17.38	17.85	17.17	14.86	17.1266667	
2004	14.6	14.9	17.1	16.57	18.45	18.44	17.6	17.81	17.83	17.97	16.02	15.51	16.9	
2005	14.85	14.48	17.84	17.82	18.64	18.94	18.42	18.6	18.32	17.44	16.13	15.65	17.2608333	
2006	15.04	15.23	14.81	16.87	18.07	18.89	18.4	18.15	17.44	18.04	15.59	16.27	16.9	
2007	15.55	13.57	15.23	17.26	17.9	18.35	17.65	17.27	17.73	16.71	16.06	13.87	16.4291667	
2008	15.05	14.79	15.76	16.91	18.43	18.56	17.86	17.69	18.26	18.28	14.58	15.48	16.8041667	
2009	14.28	14.63	14.51	16.73	18.23	17.91	18.8	18.25	17.52	16.9	16.37	15.54	16.6391667	
2010	14.24	16.41	16.58	18.67	19.35	18.61	18.51	18.48	18.45	16.77	14.56	13.55	17.015	
2011	14.65	15.74	15.24	16.48	18.46	18.44	18.46	17.99	17.91	17.6	15.97	15.18	16.8433333	
2012	15.52	15.73	15.61	17.41	18.47	18.11	18.02	17.85	17.28	16.98	15.51	14.76	16.7708333	
2013	15.77	14.56	15.97	17.85	18.07	18.3	18.12	17.51	18.13	18.06	17.12	16.22	17.14	
2014	14.32	15.2	16.01	17.81	19.41	19.14	19.04	18.64	18.28	18.16	16.89	15.39	17.3575	
2015	16.32	15.32	17.25	18.02	18.96	19.83	18.88	18.801	19.04	18.84	18.36	17.75	18.11425	
2016	15.15	15.76	16.97	19.74	19.75	18.84	18.82	18.96	18.87	18.54	17.79	17.3	18.0408333	
2017	14	15.05	16.96	18.4	19.21	19.05	18.62	18.21	18.32	18.45	15.6	15.86	17.3108333	
2018	14.75	14.97	14.72	17.37	17.73	17.41	17.73	17.55	17.23	17.28	15.96	14.32	16.4183333	
2019	14.58	15.15	15.37	16.87	18.53	18.26	17.22	17.76	17.28	16.76	16.37	14.23	16.5316667	
2020	15.06	15.13	16.2	17.17	18.81	19.16	19.13	18.95	18.41	18.49	18.33	16.57	17.6175	
2021	17.09	15.56	16.41	17.81	19.01	19.1	19.17	18.01	18.05	18.42	16.65	15.99	17.6058333	
2022														
TOTAL	484.4	488.5	513.3	571.9	605.7	605.6	596.2	592.5	588.4	580.1	538.4	506.0	555.9	
N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Máximo	17.1	16.6	17.8	19.7	19.8	19.8	19.2	19.0	19.0	18.8	18.4	17.8	18.1	
Mínimo	11.9	12.9	12.8	15.8	16.9	17.1	17.0	16.8	16.9	16.3	14.5	13.6	15.6	
MEDIA	14.7	14.8	15.6	17.3	18.4	18.4	18.1	18.0	17.8	17.6	16.3	15.3	16.8	
DESVEST	0.954	0.878	1.101	0.805	0.662	0.648	0.647	0.540	0.495	0.679	0.966	1.048	0.549	
CURTOSIS	2.047	-0.128	-0.088	1.185	-0.041	-0.278	-1.163	-0.274	0.034	-0.929	0.018	-0.320	0.255	
SESGO	-0.339	-0.177	-0.022	0.732	-0.206	-0.158	0.133	-0.060	0.429	0.124	0.241	0.028	0.376	
													Promedio	16.8459874

Ilustración 39. Serie de tiempo de temperaturas mínimas, Estación Tegucigalpa- Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

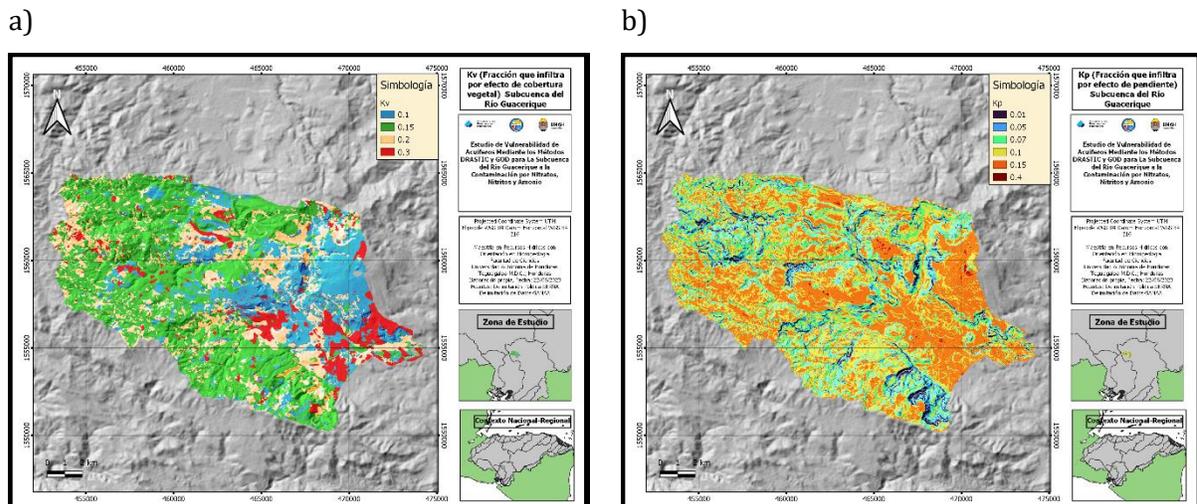
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. Balance climático

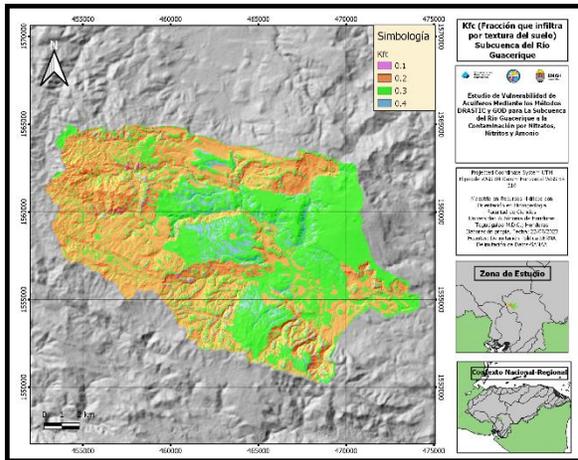


Mapa 29. Balance climático.
Fuente: Elaboración propia.

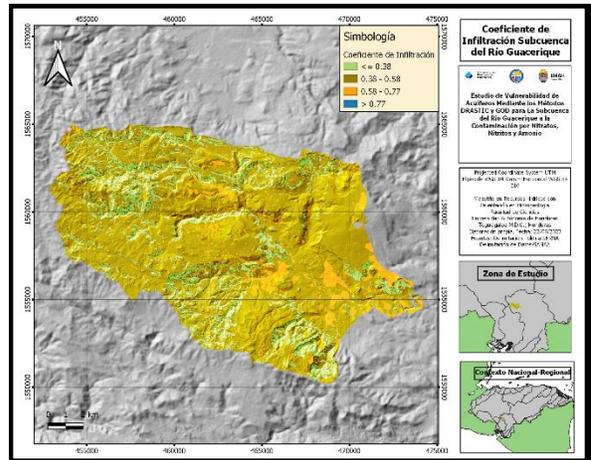
Anexo 13. Coeficiente de infiltración



c)



d)



Mapa 30. Infiltración, a) Kv, b) Kp, c) Kfc y d) Coeficiente de infiltración.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio.



Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

INFORME DE ANÁLISIS

Resultado del análisis físico químico realizado a una muestra de agua, a la que se le determinó Amonio, Nitratos y Nitritos.
Las muestras fueron identificadas de la siguiente manera:

Cuadro N°1. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-01	Platanal	Calidad de agua Potable

Cuadro N°2. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-01	Nitritos	0.005	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	1.90	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	N.D.	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°3. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-02	El Empedrado, Lapilas	Calidad de agua Potable

Cuadro N°4. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-02	Nitritos	0.007	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	1.80	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.01	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado



Pág. 1 de 9

"La Educación es la Primera Necesidad de La República"

Ilustración 40. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 1.

Fuente: IHCIT (2022).



Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°5. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-03	Las Rosas	Calidad de agua Potable

Cuadro N°6. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-03	Nitritos	0.004	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	1.50	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.12	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N7. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-04	Guajire	Calidad de agua Potable

Cuadro N°8. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-04	Nitritos	N.D.	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	N.D.	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.25	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°9. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-05	Potocolo	Calidad de agua Potable

Cuadro N°10. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-05	Nitritos	0.005	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.20	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.09	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado



Ilustración 41. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 2.

Fuente: IHCIT (2022).



Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°11. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-06	Potocolo	Calidad de agua Potable

Cuadro N°12. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-06	Nitritos	0.007	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.50	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.05	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°13. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-07	Encinos	Calidad de agua Potable

Cuadro N°14. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-07	Nitritos	0.009	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.40	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.09	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°15. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-08	Balustrera	Calidad de agua Potable

Cuadro N°16. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-08	Nitritos	0.002	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	N.D.	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.20	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado





Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°17. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-09		Calidad de agua Potable

Cuadro N°18. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-09	Nitritos	N.D.	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	N.D.	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.30	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D.: No determinado. N.R.: No Realizado

Cuadro N°19. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-10		Calidad de agua Potable

Cuadro N°20. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-10	Nitritos	0.004	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.50	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.09	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D.: No determinado. N.R.: No Realizado

Cuadro N°21. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-11		Calidad de agua Potable

Cuadro N°22. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-11	Nitritos	0.008	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.40	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.04	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D.: No determinado. N.R.: No Realizado



Ilustración 43. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 4.
Fuente: IHCIT (2022).



Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°23. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
M-12		Calidad de agua Potable

Cuadro N°24. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
M-12	Nitritos	0.006	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.30	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.05	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°25. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
PM-01	Calera	Calidad de agua Potable

Cuadro N°26. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
PM-01	Nitritos	0.007	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	1.10	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.15	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°27. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
PM-02	Calera	Calidad de agua Potable

Cuadro N°28. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
PM-02	Nitritos	0.004	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.90	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	N.D.	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado





Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°29. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
PM-03	Mateo	Calidad de agua Potable

Cuadro N°30. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
PM-03	Nitritos	0.114	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	2.80	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.13	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°31. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
PM-04	Quiscamote	Calidad de agua Potable

Cuadro N°32. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
PM-04	Nitritos	0.003	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	2.20	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.05	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°33. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
PM-05	Santa Cruz Arriba	Calidad de agua Potable

Cuadro N°34. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
PM-05	Nitritos	0.003	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.60	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.12	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado



Ilustración 45. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 6.
Fuente: IHCIT (2022).



Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°35. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
PM-07		Calidad de agua Potable

Cuadro N°36. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
PM-07	Nitritos	0.006	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.70	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.32	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°37. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
Qb-01	Agua Zarca	Calidad de agua Potable

Cuadro N°38. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
Qb-01	Nitritos	0.002	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.50	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.12	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°39. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
Qb-02	Cipres	Calidad de agua Potable

Cuadro N°40. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
Qb-02	Nitritos	0.010	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	N.D.	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	N.D.	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado





Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°41. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
Qb-03	Sitio Lardisaval	Calidad de agua Potable

Cuadro N°42. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
Qb-03	Nitritos	0.001	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.90	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.38	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°43. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
Qb-04	Rincon de Dolores	Calidad de agua Potable

Cuadro N°44. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
Qb-04	Nitritos	0.005	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.80	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.16	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado

Cuadro N°45. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
Qb-05		Calidad de agua Potable

Cuadro N°46. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
Qb-05	Nitritos	0.003	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	0.70	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.11	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D: No determinado. N.R: No Realizado



Ilustración 47. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 8.
Fuente: IHCIT (2022).



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS



IHCIT
Instituto Hondureño de
Ciencias de la Tierra



CEIRH
Centro Experimental y de Innovación
del Recurso Hídrico

Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

Solicitante: Eduardo Ordoñez
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: Época seca 2022
Recepción: 18-abril-2022
Inicio de análisis: 19-abril-2022
Fin del análisis: 22-abril-2022
Informe: 11-agosto-2022

Cuadro N°47. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
Lg-01		Calidad de agua Potable

Cuadro N°48. Resultados

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
Lg-01	Nitritos	0.000	-----	0.1*	mg/L N-NO ₂
	Nitratos	N.D.	25*	50*	mg/L N-NO ₃
	Amonio	0.39	0.05*	0.5*	mg/L N-NH ₃

N.D.: No determinado, N.R.: No Realizado

NOTAS:

1. La muestra fue tomada por Eduardo Ordoñez y trasladada al laboratorio por Eduardo Ordoñez.
2. Metodología empleada Norma Técnica de Calidad de Agua Potable para Honduras. (Ministerio de Salud, 1995)
3. Este informe no podrá ser modificada en forma parcial o total sin la aprobación del CEIRH.
4. Los resultados de este informe se refieren solamente a la muestra descrita en el mismo.
5. Para cualquier consulta referirse al Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico.

Realizado por:

Shamir Nuñez
Técnico Laboratorista.

Revisado por:

Josseline Nuñez
Jefa de Laboratorio.

Aprobado por:

Tania Peña
Coordinadora CE



Pág. 9 de 9

"La Educación es la Primera Necesidad de La República"

Ilustración 48. Resultados del muestreo de nitritos, nitratos y amonio, Pagina 9.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15. Fotografías trabajo de campo
Muestreo de Nitrogenados



Ilustración 49. Muestreo de compuestos nitrogenados.
Fuente: Elaboración propia.

Levantamiento Geofísicos



Ilustración 50. Levantamiento geofísicos, método de tomografía eléctrica.
Fuente: Elaboración propia.