



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE CIENCIAS DEL AGRO Y DEL AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA
SUBTERRÁNEA EN DIFERENTES ZONAS PERIURBANAS DE LA
CIUDAD DE MATURÍN, ESTADO MONAGAS.**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR:

GEILYN MILAGROS RODRÍGUEZ CAMPOS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MATURÍN, FEBRERO 2023



**CARACTERISTICAS HIDRAULICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL AGUA SUBTERRANEA
EN DIFERENTES ZONAS PERIURBANAS DE LA CIUDAD DE MATURIN, ESTADO
MONAGAS.**

GEILYN MILAGROS RODRIGUEZ CAMPOS

Trabajo de grado presentado en el Departamento de Ingeniería Agronómica, Escuela de Ciencias del Agro y del Ambiente de la Universidad de Oriente, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Prof. Celeidys del Valle Vizcaino González, MSc.

Asesor

Ing. Prod. Animal Magalys Rivas

Co-Asesor

Prof. Iván José Maza, Dr.

Jurado Principal

Prof. Freddy Germán Millán Arenas, Dr.

Jurado Principal

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-ECAA-DIA-2023

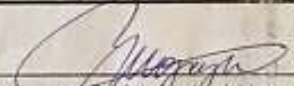
MODALIDAD: TESIS DE GRADO

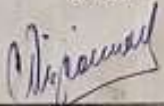
ACTA N° 1990

En Maturín, siendo las 10:00 A.m. del día 17 de marzo del 2023, reunidos en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Ecomateriales, Campus Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: Freddy Millán (Jurado), Iván Maza (Jurado) y Celeidys Vizcaino (Tutor), a fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de **Ingeniero Agrónomo**, se procedió a la presentación y defensa del Trabajo de Grado, titulado: "CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN DIFERENTES ZONAS PERIURBANAS DE LA CIUDAD DE MATURÍN, ESTADO MONAGAS", por la Bachiller: **Geilyn Milagros Rodríguez Campos**, C.I. 19.416.521. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerda calificarlo como:

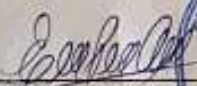
Amobado


Prof. Freddy Germán Millán Arenas. Dr.
 C.I. 5.314.120
 Jurado


Prof. Iván José Maza. Dr.
 C.I. 373.171
 Jurado


Prof. Celeidys del Valle Vizcaino González. MSc.
 C.I. 12.225.089
 Tutor


Br. Geilyn Milagros Rodríguez Campos
 C.I. 19.416.521
 Estudiante


MSc. Elizabeth Prada Andrade
 C.I. 10.116.463


MSc. Rosalia Carmen Barroto yegues
 C.I. 9.934.934

Sub-Comisión de Trabajo de Grado

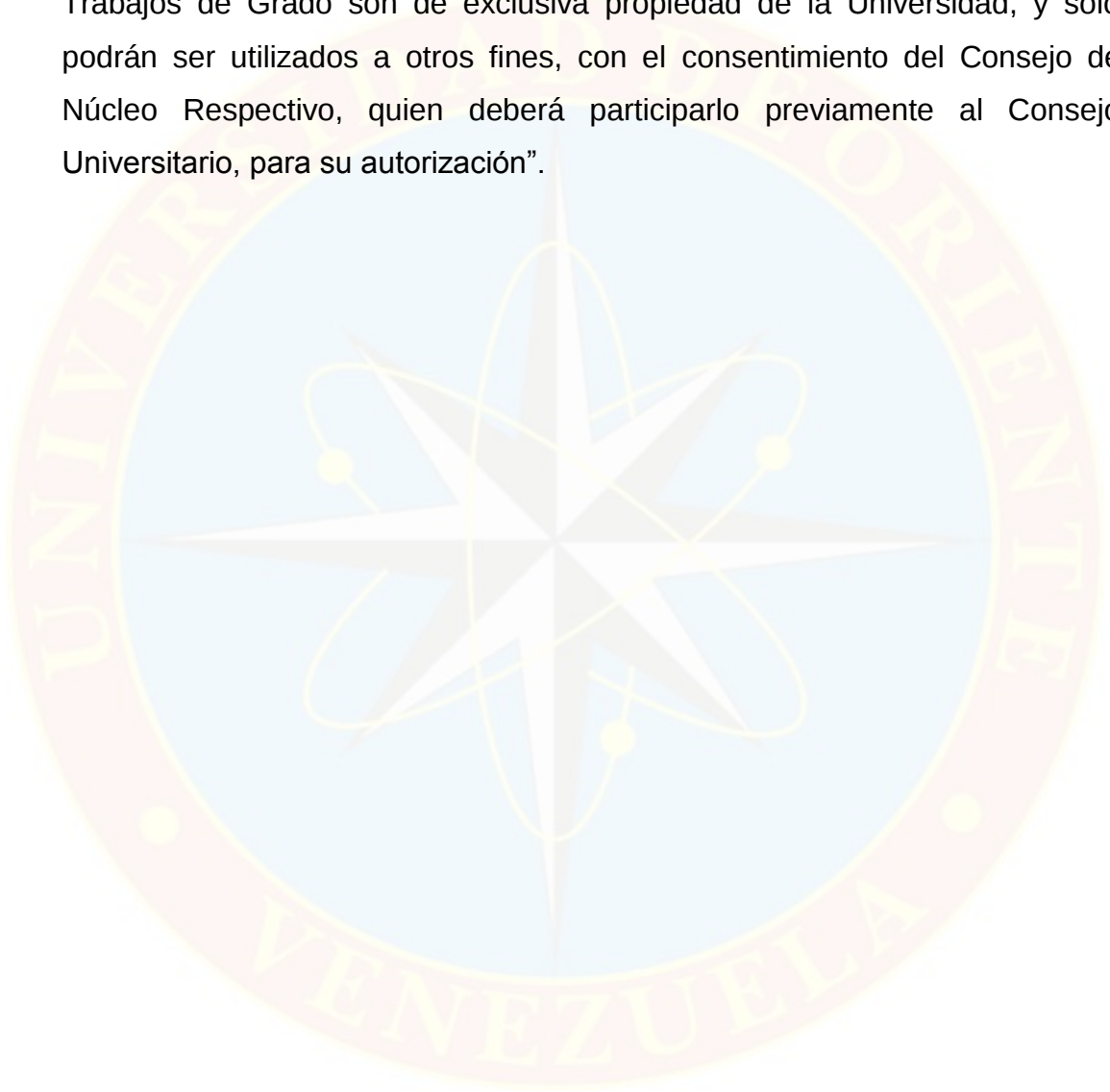
Departamento Ing. Agronómica

Según lo establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 43 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente, esta acta está asentada en la hoja N° 348 del libro de Actas de Trabajos de Grado del año 2011 del Departamento de Ingeniería Agronómica de la Escuela de Ciencias del Agro y del Ambiente y está debidamente firmada por los miembros del jurado, los asesores y el estudiante.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.



DEDICATORIA

A Jehová Dios, todopoderoso, padre bondadoso y amoroso, por conferir la sabiduría y salud necesaria para culminar satisfactoriamente ésta hermosa carrera.

A mi madre **Juana Antonia Campos**, por ser mi pilar fundamental, por dedicarse a mí con esfuerzo, paciencia, disciplina, tenacidad y amor incondicional, siempre trabajando por mi educación, para guiar mis pasos por el camino del éxito. Te honro mediante este logro mamá.

A mi pequeño hijo **Saúl Franco**, mi mayor alegría y motivación, quien llegó a mí en el momento perfecto que Dios dispuso para lograr su propósito en mi vida. A mi hijo **Santiago Franco**, esperando que mis pasos sirvan de ejemplo y este logro sea una inspiración y motivación para su vida, también a mi amado esposo **Yeixon Franco** por manifestarme su amor y apoyo, no solo durante el avance de mi tesis, sino además para mi vida; eres mi inspiración y mi refugio.

A **Carlos Ramón Rodríguez**, por ser ese hermano, cómplice y amigo incondicional, mi mayor ejemplo de superación y humildad. Gracias por siempre estar presente.

A mis padres, **Erdo Aguilera** por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida; y **Luis Ramón Rodríguez (†)**, por tu crianza y por todas sus enseñanzas que me guiaron a lo largo de mi infancia y adolescencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **Jehová Dios** por proveer de salud, templanza y fortaleza mi vida, para no claudicar en todos estos años que duró mi formación profesional.

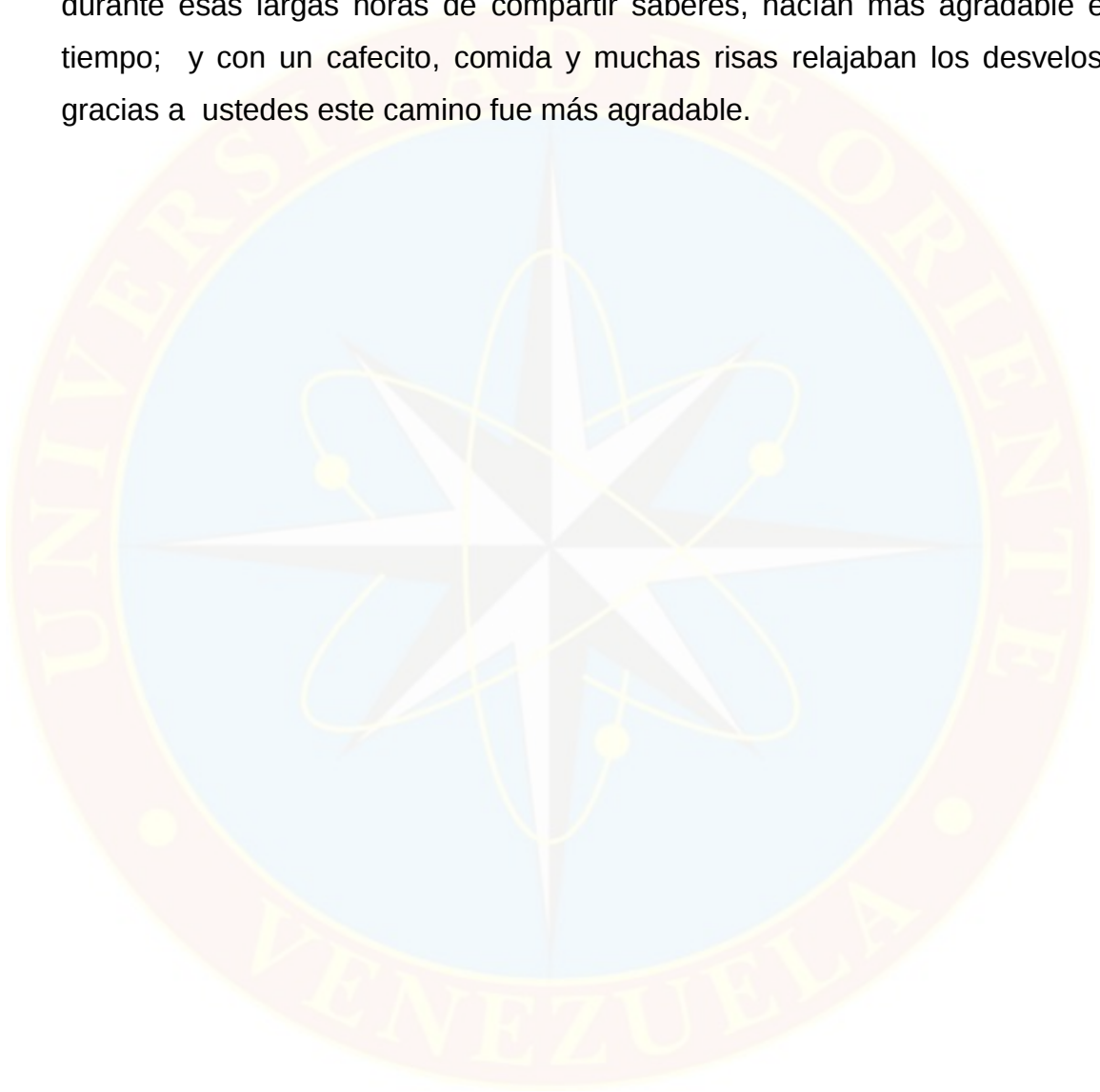
Agradezco a mis **Padres**, por ser los autores principales de mi vida, cuyo amor, esfuerzo y dedicación, han dado un resultado satisfactorio mediante este proyecto de vida.

Agradezco a mi **Esposo e hijos**, por ser mi inspiración, mi mayor impulso y motivación diaria en esta carrera hacia el éxito.

Agradezco a la **Universidad de Oriente**, la casa más alta del oriente del país, por haberme permitido ingresar y formarme profesionalmente, por medio de las personas que fueron partícipes de este desarrollo, principalmente a mis profesoras **Magalys Rivas** y **Celeidys Vizcaíno**, quienes afectuosa y pacientemente me orientaron y ofrecieron gran apoyo durante este proceso, ahora se manifiesta en la culminación de mi carrera.

De igual forma, expreso mi total gratitud a mis compañeras de investigación **Antonelys Rocas** y **Mariannys Centeno**, infinitas gracias por su contribución; a los técnicos de laboratorio **Vladimir Díaz** y **Freddy Vázquez**, gracias por su orientación y ayuda; a uno de los tantos colaboradores durante este trabajo de campo **Fernando López**, gracias por el apoyo amigo.

Por último, pero no menos importante, agradezco infinitamente a los grandes amigos y compañeros que me regalo esta carrera, **Rossana Bárcenas, Carlos Perazzo, Freddy Malaver y Johana Dellora**, quienes durante esas largas horas de compartir saberes, hacían más agradable el tiempo; y con un cafecito, comida y muchas risas relajaban los desvelos, gracias a ustedes este camino fue más agradable.



ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
MARCO TEÓRICO	5
BASES TEÓRICAS	5
Acuíferos y aguas subterráneas.....	5
Pozos profundos.....	7
Comportamiento hidráulico de los pozos.	8
Características hidráulicas de los pozos	9
Parámetros bacteriológicos de aguas subterráneas.....	14
Coliformes totales.....	16
Coliformes fecales.....	17
Muestreo de aguas subterráneas para evaluación de calidad bacteriológica.	17
Técnicas analíticas para determinar la presencia de coliformes.	21
<i>Contaje total de colonias.</i>	21
<i>Tubos múltiples de fermentación.</i>	21
Contaminación bacteriológica de aguas subterráneas y su efecto en la salud y la agricultura.....	24
BASES LEGALES	25
ANTECEDENTES.....	27
MARCO METODOLÓGICO.....	29
DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	29
MATERIALES Y EQUIPOS	34
METODOLOGÍA.....	35
Fase I. Labores previas a la salida de campo.	36
Fase II. Actividades en el campo.....	36
Parámetros hidráulicos.....	36
Parámetros bacteriológicos.....	37

Fase III. Actividades en el Laboratorio	38
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	40
DISCUSIONES DE RESULTADOS.....	41
SITUACION ACTUAL Y COMPONENTES HIDRAULICOS DE LOS POZOS.....	41
DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS POZOS	48
Nivel Estático	50
Nivel Dinámico	53
Abatimiento	55
Caudal.....	56
DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS BACTERIOLOGICOS DE LOS POZOS	58
Coliformes totales	60
Coliformes fecales.....	61
ANALISIS DE LOS PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS. DE AGUAS DE LOS POZOS SEGÚN DECRETO N° 883 Y LAS NORMAS SANITARIAS.	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS	69
ANEXOS.....	75
HOJA DE METADATOS	87

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Preservación de las muestras de agua para análisis microbiológico	20
Cuadro 2. Coordenadas de los pozos tomados como estaciones de muestreo en las zonas periurbana de la ciudad de Maturín, Estado Monagas, Venezuela.....	33
Cuadro 3. Componentes y características hidráulicas de los pozos en áreas de estudio.....	47
Cuadro 4. Características hidráulicas de los pozos seleccionados en las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín durante periodo marzo-mayo 2016.	49
Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de los parámetros hidráulicos de los pozos seleccionados en las zonas periurbana de la ciudad de Maturín	50
Cuadro 6. Coliformes totales y fecales obtenidos de los análisis bacteriológicos en los pozos de las zonas periurbana de la ciudad de Maturín durante el periodo marzo- mayo 2016.	59
Cuadro 7. Estadísticas descriptivas de los parámetros bacteriológicos de agua de pozos seleccionados en zonas periurbana de la ciudad de Maturín.....	60
Cuadro 8. Valores límites permisibles en normativas ambientales y sanitarias para la calidad del agua de consumo humano.....	63
Cuadro 9. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para Nivel Estático de pozos seleccionados en las zonas periurbanas de Maturín	76
Cuadro 10. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para Nivel Estático en los meses estudiados en las zonas periurbanas de Maturín	76
Cuadro 11. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple Duncan para Nivel Dinámico de pozos seleccionados en las zonas periurbanas de Maturín	77
Cuadro 12. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para Nivel Dinámico en los meses estudiados en zonas periurbanas de Maturín	77
Cuadro 13. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Abatimiento de los pozos seleccionados en zonas periurbanas de Maturín.	78
Cuadro 14. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Abatimiento en los meses estudiados en zonas periurbanas de Maturín	78

Cuadro 15. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Caudal de los pozos seleccionados en las zonas periurbanas de Maturín.	79
Cuadro 16. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Caudal en los meses estudiados en las zonas periurbanas de Maturín	79
Cuadro 17. Base de datos de características hidráulicas de los pozos adyacentes a las estaciones de muestreo en estudio	80
Cuadro 18. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para Coliformes Totales (CT) en agua de pozos seleccionados en zonas periurbana de la ciudad de Maturín.....	81
Cuadro 19. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para coliformes totales (CT) en los meses muestreados en los pozos de las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín.....	81
Cuadro 20. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para Coliformes Fecales (CF) en agua de pozos seleccionados en zonas periurbana de la ciudad de Maturín.....	82
Cuadro 21. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para coliformes fecales (CF) en los meses muestreados en los pozos de las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín.....	82
Cuadro 22. Número Más Probables (NMP) y Límite de confianza 95%, en prueba con tubos de fermentación cuando son utilizados tres tubos con volúmenes de 0,1; 0,01; y 0,001 g ^a	83
Cuadro 23. Tabla climática de datos históricos del tiempo en Maturín. Data: 1991 - 2021 Temperatura min. (°C), Temperatura máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad, Días lluviosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol.	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de acuífero	6
Figura 2. Diagrama esquemático para detectar coliformes totales y coliformes fecales.....	23
Figura 3. Contaminación de un pozo de extracción de aguas subterráneas por efecto de una fosa séptica	25
Figura 4. Mapa con la delimitación del Plan de Ordenamiento Urbanístico de la ciudad de Maturín.....	30
Figura 5. Ubicación de los pozos muestreados de las zonas periurbanas de la Ciudad de Maturín.	31
Figura 6. Condiciones actuales del Pozo 1 de la Zona Norte Urbana (ZNU), Urbanización Godofredo González, Parroquia Boquerón.....	41
Figura 7. Condiciones actuales del Pozo 2 de la Zona Norte Rural (ZNR), Sector Plantación de Viboral, parroquia Boquerón.....	42
Figura 8. Condiciones actuales del Pozo 3 de la Zona Sur Urbana (ZSU) Urbanización Lomas del Viento, parroquia San Simón Rural.....	43
Figura 9. Condiciones actuales del Pozo 4 de la Zona Sur Rural (ZSR) Consejo Comunal Campesino "Cruz Hernández Quijada" del sector Guanaguaney, parroquia Alto Los Godos.....	43
Figura 10. Condiciones actuales del Pozo 5 de la Zona Este Urbana (ZEU), urbanización Los Tapiales II parroquia Las Cocuizas.....	44
Figura 11. Condiciones actuales del Pozo 6 de la Zona Este Rural (ZER) E.T.A Robinsoniana "Simón Bolívar", Sector Parari, parroquia La Pica.	45
Figura 12. Condiciones actuales del Pozo 7 de la Zona Oeste Urbana (ZOU), Conjunto residencial Juana La Avanzadora, parroquia Santa Cruz.	45
Figura 13. Condiciones actuales del Pozo 8 de la Zona Oeste Rural (ZOR) sector San Vicente parroquia San Vicente.....	46
Figura 14. Informe técnico de uno de los pozos del conjunto residencial Juana La Avanzadora (ZOU) año 2017.....	84
Figura 15. Climograma del estado Monagas. Periodo 1986 - 2015. (Fuente: INAMEH).....	85

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Variación del Nivel Estático en(a) los pozos seleccionados y (b) meses de estudio mediante cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.	51
Gráfica 2. Variación temporal del Nivel Estático en los años 2008 y 2016 con diferencia del descenso y ascenso.	52
Gráfica 3. Variación del Nivel Dinámico en a) los pozos seleccionados y b) meses de estudio mediante cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.	54
Gráfica 4. Variación del Abatimiento o nivel de bombeo en a) pozos seleccionados y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.	55
Gráfica 5. Valores de la variación del caudal en a) pozos seleccionados y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.	57
Gráfica 6. Valores de la variación del coliformes totales en a) pozos y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.	61
Gráfica 7. Valores de la variación del coliformes fecales en a) pozos y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.	62

RESUMEN

En la ciudad de Maturín es frecuente la extracción de agua subterránea, para complementar la demanda destinada al consumo humano y las actividades agrícolas, sin tener control volumétrico por uso de múltiples pozos que genera un déficit en los acuíferos durante el periodo de sequía y alteran la calidad del agua durante el periodo de lluvia. Son estos elementos transcendentales al evaluar las características hidráulicas y bacteriológicas del agua extraída de ocho pozos ubicados en sectores urbanos y rurales de la ciudad de Maturín, Estado Monagas, durante el periodo marzo - mayo del año 2016- Las variables microbiológicas fueron analizados con las normativas sanitarias para agua potable y uso agrícola (COVENIN 2634:2002, MSAS (1998), OMS (2006) y Decreto N° 883. Encontrándose la mayor concentración de Coliformes totales y fecales en el pozo ZNU (1566,7 NMP/100mL), seguido progresivamente por los pozos ZEU (766,7 NMP/100mL), ZSR (600 NMP/100mL), ZER (500 NMP/100mL) y ZNR (266,7 NMP/100mL), lo que indica una afectación bacteriológica del agua de esas fuentes. Igualmente se registró un comportamiento del flujo y niveles hidráulicos, observándose un descenso en el nivel estático de los pozos de la zona Oeste y Sur urbana, así también en el nivel de bombeo o dinámico. Se tomó en cuenta la carga dinámica y disponibilidad de agua en los acuíferos durante la época de sequía cuando más requieren de este recurso. Los mayores abatimientos fueron en los pozos ZNR (9.96 m), ZEU (5.17 m) y ZNU (2.84 m), por tener el nivel estático más superficial y potencia del sistema de bombeo. El mejor caudal lo emitió el pozo ZNU (10.87 L/s), seguido por los pozos de las zonas con desarrollo urbanístico, quienes requieren más del agua. Esto permitirá proyectar la protección de las reservas hídricas y la prevención de contaminación que causen enfermedades a la población.

Palabras Clave: calidad bacteriológica, caudal, nivel dinámico, nivel estático

SUMMARY

In the city of Maturin, the extraction of groundwater is frequent, to complement the demand for human consumption and agricultural activities, without having volumetric control due to the use of multiple wells that generates a deficit of the resource in the aquifers during the dry period and alter the quality of water during the rainy season. These are transcendental elements in this investigation when evaluating the hydraulic and bacteriological characteristics of the water extracted from eight wells located in urban and rural sectors of the city of Maturin, Monagas state, during the period March-May of the year 2016. The results of the microbiological variables were analyzed with the sanitary regulations for drinking water and agricultural use, (COVENIN 2634: 2002, MSAS (1998), OMS (2006) and decree N°883). Finding the highest concentration of total and fecal coliforms in the well ZNU (1566,7 NMP/100ml), followed progressively by the wells ZEU (766,7 NMP/100ml), ZSR (600 NMP/100ml) ZER (500 NMP/100ml) and ZNR (266,7 NMP/ 100ml), which indicates a bacteriological affectation of the water from these sources. Likewise, a behavior of the flow and hydraulic levels was registered, observing a decrease in the static level of the wells in the western and southern urban area, as well as in the pumping or dynamic. The dynamic load and availability of water in the aquifers were taken in count during the dry season when they most require this resource. The greatest drawdowns were in the wells ZNR (9.96 m), ZEU (5.17 m) and ZNU (2.84 m), due to having the most superficial static level and power of the pumping system. The best flow was emitted by the well ZNU (10.87 L/s), followed by the wells in the urban development areas, which require more water. This will allow projecting the protection of the water reserve and the prevention of contamination of diseases to the population.

Keywords: bacteriological quality, flow, dynamic levels, static level

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el agua subterránea se encuentra por encima del total de las aguas superficiales, de ahí su valor como reserva y recurso de agua dulce. Para la civilización es de vital importancia, debido a que es usada para abastecer gran parte de las poblaciones en todo el mundo. Alrededor de la tercera parte del agua que se usa en las ciudades, industria y agricultura, son aguas subterráneas (Quintero y Herrera, 2009).

Según la UNESCO (2011), los acuíferos representan un 96% del agua dulce presente en el planeta. Así como también, asegura que estos proporcionan algo más del 70% del agua utilizada en la Unión Europea y con frecuencia son la única fuente de abastecimiento de regiones áridas o semi-áridas. Igualmente, diversos artículos relacionados con el tema, señalan que la mitad de la población en EE. UU depende del agua subterránea y un 66% de la población mexicana cuenta con acuíferos. Por su parte, América del Sur posee el tercer acuífero más grande del mundo, compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el cual constituye la principal fuente de abastecimiento urbano, industrial y agrícola para estos países.

En cuanto a Venezuela, para el año 1972, las reservas totales de aguas subterráneas, al norte del Rio Orinoco fueron cuantificadas por la Comisión para el Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH), en 7.7 billones de m³, por lo que resulta incuestionable su importancia y ha reemplazado en diferentes aspectos a las aguas superficiales. Además, una estimación preliminar señala que aproximadamente el 50% del abastecimiento de agua potable, industrial y de riego en el país proviene de aguas subterráneas (Duran, 2011).

Es importante mencionar que las aguas subterráneas en muchas zonas de Venezuela son subestimadas y en otras son sometidas al aprovechamiento intensivo. En el estado Monagas, el principal afluente superficial es el Río Guarapiche, quien suministra de agua a una fracción de la población de la ciudad de Maturín. No obstante, no todos los sectores son favorecidos por este caudaloso río, por lo que en muchas zonas urbanas y periurbanas es frecuente la explotación del agua subterránea, como fuente alterna y suplementaria, para consumo humano y producción agrícola, sobre todo en las zonas periféricas de la ciudad, donde se han perforados múltiples pozos, sin medir las consecuencias que esto pueda causarle a los acuíferos de la zona, sobre todo en el periodo de sequía.

Ahora, estudiar la calidad del agua subterránea es elemental, no sólo desde el punto de vista para consumo humano, ya que uno de los aspectos que la hacen particularmente útil es su pureza, sino también como fuente para el riego de cultivos que puedan alcanzar un adecuado desarrollo en la actividad agrícola (Baccaro *et al.*, 2006), al tener en cuenta las demandas de los recursos hídricos para las comunidades urbanas y periurbanas, es necesario reflexionar que la agricultura se ha desarrollado como una actividad informal practicada por individuos y asociaciones de productores, que usan el agua no tratada para el riego de cultivos de consumo directo. Por ende, un elemento trascendental en el estudio del agua subterránea, es la evaluación de los riesgos que pueda causar a la salud pública la calidad bacteriológica en la producción agrícola de consumo directo y el aprovechamiento del agua en esta actividad (FAO, s/f).

Actualmente, la contaminación en nuestro entorno es considerable, y son las aguas superficiales las que han resultado mayormente afectadas, siendo algunas veces vetadas para el consumo humano. Es por eso que se

recurre a la utilización de las aguas subterráneas, que va aumentando progresivamente, siendo de vital importancia el estudio y protección de este recurso, porque de contaminar se representaría un problema de difícil solución, significando un riesgo para la población beneficiada.

Es así como los urbanismo y sectores en la periferia de la ciudad de Maturín, no se escapan de esta problemática, debido a que el uso de aguas subterráneas es cada vez mayor y resulta importante saber cuál es la cantidad y calidad que contiene, sobre todo en la época de sequía donde tienden a disminuir los niveles de agua en las fuentes superficiales, para así recomendar las medidas adecuadas del uso, prevención y control sanitario. Pues Como son escasas las publicaciones sobre caracterización hidráulica de pozos y calidad de aguas subterráneas en la ciudad de Maturín, es motivo primordial para la realización de este trabajo de investigación, el cual servirá como un aporte de información para proyectos futuros que se realicen en las zonas circunvecinas, al igual que permitirá la preservación de las reservas hídricas y la prevención de contaminación que trae enfermedades a la población.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características hidráulicas y bacteriológicas del agua subterránea destinada al consumo humano y actividades agrícolas, de ocho (8) pozos activos localizados en las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín, estado Monagas. Periodo marzo-mayo 2016.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la condición actual y los componentes hidráulicos básicos de los pozos seleccionados en las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín.
- Determinar las características hidráulicas (caudal, abatimiento, nivel estático y dinámico) de los pozos seleccionados.
- Determinar los niveles de coliformes totales y fecales en las aguas subterráneas de los pozos seleccionados para el estudio.
- Analizar los resultados de los parámetros bacteriológicos obtenidos con las normativas sanitarias y ambientales vigentes para agua potable y uso agrícola.

MARCO TEÓRICO

BASES TEÓRICAS

Acuíferos y aguas subterráneas

Los conceptos de acuífero y de agua subterráneas pueden variar según se trate de sistemas en estado natural o de sistemas en explotación, de forma que se suele aceptar una definición más amplia en el caso de unidades no explotadas que cuando se ponen por medio intereses económicos, sin embargo, la lógica parece indicar que dicha definición ha de ser independiente del uso del recurso (Ordoñez, 2011).

El suelo que se encuentra en la zona radicular es utilizado como un depósito para almacenar agua entre riegos, la que queda disponible para uso de las plantas. Análogamente, un acuífero es un almacén geológico a mayor profundidad, en el que se deposita el agua que puede ser bombeada posteriormente. En el primer caso el agua forma parte de un suelo que no está saturado, mientras que, en el segundo, los acuíferos se encuentran saturados o muy cerca de saturación. (Reckmann, 2009).

De acuerdo con Ordoñez (2011), los acuíferos se pueden clasificar en:

- **Acuíferos libres:** Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por de saturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.

- **Acuíferos confinados:** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos (**Figura 1**).

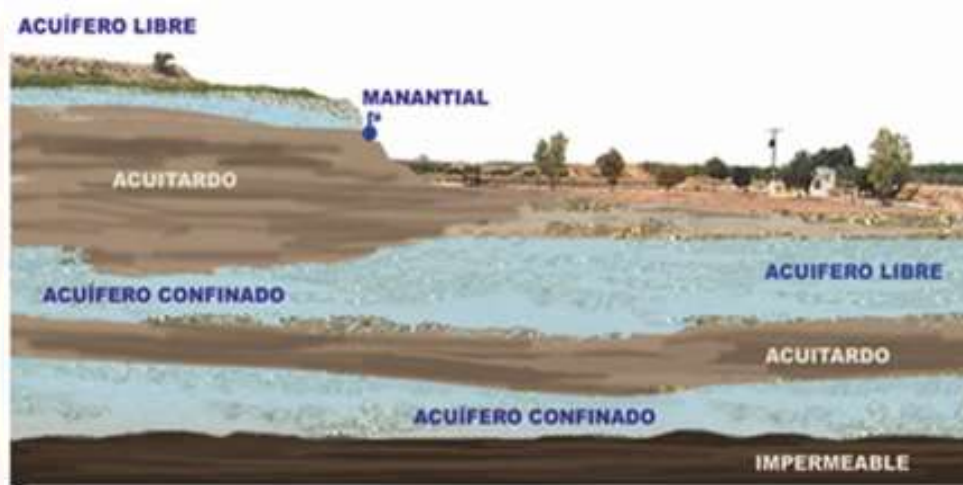


Figura 1. Tipos de acuífero (Ordoñez, 2011)

Otro tipo de acuífero, con características similares a los acuíferos libres, es el acuífero colgado, definido como un depósito que se encuentra sobre un estrato impermeable o semimpermeable cercano a la superficie, siendo su reserva de agua de una menor magnitud. (Reckmann, 2009).

A su vez el agua subterránea es definida como aquella situada bajo el nivel freático y que está saturando completamente los poros y fisuras del terreno. Esta se renueva de modo constante por la naturaleza, debido a la recarga que procede principalmente de las precipitaciones, pero también puede producirse a partir de escorrentía superficial y cursos superficiales de

agua, de acuíferos próximos o de retornos de ciertos usos (por ejemplo: los retornos de riego) (López *et al.*, 2009). El agua subterránea puede ser colectada mediante perforaciones, túneles, galerías de drenaje y fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. (Ordoñez, 2011).

Uno de los aspectos que hacen particularmente útil el agua subterránea para el consumo humano es la menor contaminación a la que está sometida y la capacidad de filtración del suelo que la hace generalmente más pura que las aguas superficiales. Además, que este recurso es poco afectado por períodos prolongados de sequía. (Vélez *et al.*, 2014).

Según la FAO (2010) las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego. Una gran dependencia a nivel mundial que indica que aproximadamente 2.500 millones de personas necesitan exclusivamente los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua (UNESCO, 2011).

Pozos profundos

En la actualidad el mayor número de captaciones de agua subterráneas se realiza mediante pozos profundos. Estas corresponden a una estructura hidráulica que permite alumbrar y extraer aguas que escurren por los acuíferos subterráneos, donde el agua se extrae mediante bombeo u otro sistema de elevación (Reckmann, 2009).

Comportamiento hidráulico de los pozos.

El comportamiento de un pozo, así como las fórmulas hidráulicas por las cuales se rige, dependen del terreno en el cual ha sido perforado. Para establecer el comportamiento actual y futuro de un acuífero es indispensable la estimación de parámetros hidráulicos como: conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, los cuales pueden obtenerse por medio de pruebas de bombeo (Vélez *et al.*, 2014).

De acuerdo con Futuro Sostenible (2021) las pruebas de bombeo es un ensayo realizado en un pozo o captación vertical que permite conocer el caudal óptimo de aprovechamiento, sus condiciones de operación y los parámetros hidráulicos del sistema acuífero - captación. Se realiza al final de la etapa exploratoria en caso de que sea satisfactoria y así establecer las condiciones hidráulicas de la captación, su caudal y el diseño del equipo de bombeo, y en las captaciones preexistentes. Las pruebas son reconocidas como prueba de caudal variable y prueba de caudal constante.

Prueba de caudal variable o escalonado:

Consiste en bombear el pozo con diferentes caudales fijos durante períodos definidos, controlando los niveles de agua y el tiempo. Estas mediciones incluyen en consecuencia, el nivel estático, el caudal de agua que se extrae, simultáneamente con el nivel dinámico correspondiente, lo que se realiza con una frecuencia determinada. Los resultados de esta prueba permiten definir la curva de “agotamiento” del pozo y con ella diseñar las condiciones de explotación de la captación, proyectando en el tiempo la tendencia de los niveles para los diversos caudales (Reckmann, 2009).

Prueba de caudal constante:

Similar a la anterior, pero manteniendo un solo caudal durante un período definido, permite calcular la transmisibilidad del acuífero. En el caso de disponer de uno o varios pozos de observación será posible calcular el coeficiente de almacenamiento, para lo cual habrá que controlar los niveles y el tiempo en cada uno de ellos (Reckmann, 2009).

Características hidráulicas de los pozos

Para García (2003), un pozo es una estructura hidráulica que, permite efectuar la extracción de agua de una formación acuífera, y dependiendo de una aplicación inteligente de los principios de la hidráulica en el análisis del pozo y del comportamiento del acuífero, permitiendo una selección de los materiales que asegure una larga duración de la estructura. Algunas definiciones importantes en la hidráulica de los pozos son:

Nivel freático:

De la Lanza *et al.* (1999) y Futuro Sostenible (2021) lo define como el plano horizontal por el límite de la capa de tierra totalmente saturada con agua. Debajo del nivel freático, todos los espacios están llenos de agua; arriba de ella, algunos espacios están vacíos permitiendo que el agua escurra a través de los mismos. Determina la posición del nivel estático y está relacionado con la elevación de la superficie de pantanos, lagos y corrientes permanentes e incluso con la amplitud de contaminación de aguas subterráneas en tierra. La tierra con un nivel freático alto, es más susceptible a la contaminación que los que están debajo de la superficie del terreno.

Nivel estático:

Es el nivel natural del agua dentro del pozo medido desde superficie cuando este no ha sido sometido a extracción de agua, como mínimo por un periodo de 24 a 48 horas (Futuro Sostenible, 2021). Este nivel se ve afectado por efectos meteorológicos (precipitación, infiltración) estacionales, cargas adicionales (edificaciones), o por la descarga producida por pozos cercanos. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de la descarga (Donado, 1999).

Nivel dinámico o nivel de bombeo:

También llamada nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero. También se debe tener en cuenta el diseño del pozo, el procedimiento para calcularlo cuando se inicia el bombeo el nivel del agua comienza a bajar según la rapidez de bombeo hasta que después de un tiempo el nivel se detiene, la rapidez de llenado del pozo se equilibra con la del bombeo y esta nueva profundidad es el nivel dinámico (Donado, 1999).

Abatimiento:

Es el efecto hidráulico generado en el nivel del agua presente en el acuífero, luego de ejercer succión o abatimiento del agua por bombeo. Esta condición se define para un radio de influencia (Futuro Sostenible, 2021).

Este descenso de niveles, define la curva de abatimiento, por lo tanto, es claro que el abatimiento presenta su menor valor en lejanías del pozo y el mayor valor en el pozo. La dimensión del abatimiento es la longitud [L]. El abatimiento es generalmente expresado en metros de agua.

Medición de caudal en pozos:

El caudal es la cantidad de agua que pasa por un punto o sección de un canal, acequia, perforación de agua subterránea o surco durante un determinado intervalo de tiempo, y suele medirse en litros/segundo. En las pruebas de aforo se debe disponer de un sistema que permita medir el caudal bombeado y apreciar sus variaciones. (CNA, 2007)

Según la Comisión Nacional del Agua de México, (2007) el gasto de un pozo profundo puede determinarse empleando los siguientes métodos:

- *Método del orificio calibrado:* Es el más utilizado cuando se trata de determinar el caudal óptimo de explotación de un pozo, mediante una prueba de bombeo a caudal escalonado. Es un método preciso y el más usado en los aforos de pozos. Consta de un equipo de fácil instalación:
 - Un tubo de una longitud mínima de 2 m, conectado al cabezal de descarga, de diámetro adecuado al caudal esperado.
 - Un porta placa.
 - Placas con orificios de diferentes diámetros, comprendidos entre 1/2 y 3/4 del diámetro del tubo de descarga.
 - Un tubo transparente.
 - Un flexómetro.

El tubo se conecta al cabezal de descarga y queda completamente horizontal. En su extremo se coloca una placa de acero con un orificio de diámetro conocido. La placa debe quedar perpendicular al eje del tubo y los bordes del orificio deben estar biselados en un ángulo entre 45 y 60 grados. La placa con orificio calibrado debe estar sujeta al tubo mediante un portaplacas con rosca. A 61 cm del orificio se le hace un agujero de 0,5 a 2 cm de diámetro, para insertar un tubo transparente y observar la altura del agua en su interior. Este tubo debe apoyarse sobre una regla graduada fija, para medir la altura piezométrica del agua en ese punto (CNA, 2007).

El método del orificio calibrado está basado en la aplicación del teorema de Bernoulli, que permite calcular el caudal en función de la presión, mediante la siguiente expresión:

$$Q = C' \sqrt{h} E_c. 1$$

Dónde:

Q = Caudal en L/s

h = Altura del agua en el tubo transparente en cm

C'= Coeficiente que depende de la velocidad del agua, carga h, rugosidad de la pared de la tubería y relación entre diámetros del orificio y la tubería.

La principal ventaja de este método es que permite el control instantáneo de caudales.

- *Método de la escuadra:* La CNA (2007), expresa que existen dos procedimientos para calcular el caudal de bombeo utilizando el método

de la escuadra. Este método se puede aplicar a pozos que tengan la descarga libre y que se encuentre en posición horizontal.

- Primer procedimiento: Consiste en medir la distancia horizontal que existe entre el extremo del tubo de descarga y el punto donde cae el chorro de agua en el suelo y la altura a la que se encuentra la tubería. El caudal está dado por la siguiente fórmula:

$$Q = 0,002215 \frac{DA}{H} \text{ Ec. 2}$$

Dónde:

Q = Caudal en L/s

D = Distancia a la que cae el chorro de agua en cm

A = Sección de la tubería de descarga en cm²

H = Altura del centro de la tubería de descarga sobre la superficie del terreno, en cm.

- Segundo procedimiento: Este método consiste en medir la distancia horizontal entre la extremidad del tubo de descarga y un punto situado a 305 mm por encima de la caída del agua. La relación para obtener el caudal es la siguiente:

$$Q = 0,004 DA \text{ Ec. 3}$$

Dónde:

Q = Caudal en L/ s

D = Distancia en cm

A = Sección de la tubería de descarga en cm²

Se recomienda que un brazo de la escuadra mida 305 mm y el otro tenga un nivel para lograr que sea exacta la medida.

- *Método volumétrico:* consiste en medir el tiempo de llenado de un recipiente de capacidad conocida. El recipiente debe ser de tal capacidad, que el tiempo de llenado sea de cuando menos 20 segundos, a fin de que el error que se cometa sea mínimo. En la práctica, este método puede ser usado si el caudal es bajo (< 20 L/s). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V/T$$

Ec. 4

Dónde:

Q = Caudal en litros por segundo, L/s

V = Volumen en litros, L

T = Tiempo en segundos, s

Otros métodos de aforo aplicable son el medidor de flujo, los vertedores: triangular, rectangular y trapecial; y los pozos brotantes.

Parámetros bacteriológicos de aguas subterráneas.

Los estudios bacteriológicos se encaminan, primordialmente en la evaluación de los efectos de las enfermedades de origen hídrico. Uno de los métodos más utilizados para determinar la calidad sanitaria del agua, es determinar la clase y número de bacterias que se hallan presentes en una muestra de agua. En 1895, se propuso una prueba de *Escherichia coli* como índice para determinar la potabilidad del agua de bebida, marcando así el

inicio del uso de los Coliformes como indicadores de patógenos (Quintero y Herrera, 2009).

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. A menudo, el agua transporta bacterias intestinales patógenas como *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* también, en menor grado, *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Clostridium* spp y *Bacillus anthracis* (Gesche et al., 2003).

Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, el grupo de los Coliformes se ha usado como indicadores, ya que son de más rápida y fácil detección (Quintero y Herrera, 2009).

De acuerdo con la Norma Venezolana COVENIN 2634:2002, el grupo coliformes está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, Gram-negativo, no formadores de esporas y con forma de bastón que fermenta la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas de incubación a 35°C.

Según Cabrera et al. (1997), las aguas subterráneas no son en modo alguno, invulnerables a la contaminación microbiológica. De manera que la supervivencia y multiplicación de los organismos patógenos en el agua subterránea, están regidos por varios factores mencionándose:

- **Disponibilidad de nutrientes:** cuando existe materia orgánica, los organismos abundan.
- **Temperatura:** una temperatura de 37°C da como resultado una rápida multiplicación
- **Valores de pH:** valores altos y bajos de pH son desfavorables a la mayoría de las bacterias y virus patógenos; por lo que valores de pH entre 6.4 y 7.6, usualmente dan como resultado largos períodos de supervivencia.
- **Disponibilidad de Oxígeno:** los coliformes fecales requieren oxígeno para sobrevivir y en los casos en los que el ambiente en que viven se contamina, las anaerobias se multiplican y eliminan a las aerobias.

Coliformes totales

Los coliformes totales son la familia *Enterobacteriaceae* lactosa-positivas y constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en 24-48 horas, con producción de ácido y gas. Tienen enzima cromogénica B galactosidasa, que actúa sobre el nutriente indicador cambiado de color en el medio de cultivo. Las técnicas de análisis más conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana (Aurazo, 2009)

Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal (Aurazo, 2009).

Coliformes fecales

Las bacterias coliformes fecales constituyen un subgrupo de todos los organismos con mayor probabilidad de haberse originado en los intestinos. Los organismos coliformes de origen fecal por lo común se reproducen a una temperatura relativamente alta 44,5°C, Esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes que suelen encontrarse en el medio ambiente, a una temperatura óptima a los 30°C (Aurazo, 2009).

Se miden por pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua. Las técnicas de análisis más conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana; actualmente el mercado ofrece otras técnicas más avanzadas, pero el empleo de las técnicas tradicionales está aprobado por los estándares internacionales (Aurazo, 2009).

Muestreo de aguas subterráneas para evaluación de calidad bacteriológica.

Para Guevara (1996), los procedimientos de captación de muestras varían según los análisis que se vayan a efectuar y de las condiciones del cuerpo de agua; independientemente de los fines para los cuales han sido tomadas las muestras. Además, explica que una muestra es representativa en la medida en que sus características correspondan a la existencia de una gran masa total.

Hay una frecuencia del muestreo para el control de la calidad bacteriológica de los sistemas de abastecimiento subterráneos, que garanticen una estricta vigilancia de su condición sanitaria, es por eso que

uno de los criterios, utilizado para determinar la calidad sanitaria del agua, es la clase y número de bacterias que se encuentran dentro del mismo (OMS, 2008).

Es recomendable realizar métodos de análisis, por procedimientos indirectos, por lo cual determina la calidad sanitaria del agua evaluando muestras con la presencia de microorganismos indicadores como es el caso de las bacterias coliformes, que se manifiestan con mayor frecuencia que los microorganismos patógenos, y a su vez son más fáciles y seguras de detectar. (Vizcaino, 2017).

Cuando la captación de muestras se efectúa para evaluar la calidad del agua de un acuífero, la Norma Venezolana COVENIN 2709:2002, señala que es necesario bombear en los pozos o en las perforaciones de forma que se aseguren que el agua captada provenga del acuífero y para eliminar del sistema cualquier producto de corrosión. La profundidad de la captación de muestras debe registrarse a partir del nivel freático de referencia.

La Norma Venezolana COVENIN 2614:1994, establece procedimientos en la captación de muestras de agua potable para su posterior análisis químico, físico y microbiológico. En el muestreo para el análisis microbiológico en las aguas subterráneas, la norma recomienda lo siguiente:

a) De acuerdo al sitio de muestreo:

- Fuente de suministro de agua a la planta.
- Salida de las unidades de tratamiento (en caso de requerirse tratamiento de adecuación para potabilidad).

b) De acuerdo a la frecuencia de muestreo:

- La frecuencia mínima para el control de potabilidad, debe considerar la calidad del agua natural, el método de purificación adoptado y la probabilidad de contaminación del agua en las tuberías y equipos de llenado.
- c) De acuerdo a la selección del envase:
- Para el análisis microbiológico, deben ser de una calidad, que permita las condiciones de esterilización y, deberán tener forma y capacidad ajustada a los volúmenes de muestra.
 - Los envases para este ensayo, deberán ser sometidos a esterilización a 121 °C de temperatura durante 15 minutos, o por calor seco a 170 °C por 1 hora.

Así mismo, para el procedimiento de muestreo la Norma Venezolana COVENIN 2614:1994 recomienda seguir las siguientes pautas establecidas:

- El envase previamente esterilizado debe destaparse únicamente en el momento de la captación y al finalizar cerrar de inmediato.
- Durante la toma de muestras, el envase debe sujetarse por la base y evitar contacto externo que contamine la boca o tapa del mismo.
- En caso de muestreo en grifos se debe:
 1. Evitar tomar muestras de grifos que goteen entre el vástago y el cuello, ya que el agua exterior podría contaminar la muestra.
 2. Eliminar los accesorios externos que puedan poseer los grifos, tales como: filtros, boquillas de goma u otros dispositivos que eviten salpicaduras.
 3. Desprender los sedimentos acumulados.
 4. El operario se debe lavar cuidadosamente manos y antebrazos, enjuagarse con alcohol y dejar secar al aire.
 5. Dejar drenar el agua del grifo durante 5 minutos y cerrar la salida

6. Flamear el punto de toma utilizando alcohol y mechero. Abrir de nuevo el grifo y dejar drenar por 2-3 minutos, se regula el flujo de salida para evitar salpicaduras.
7. Rápidamente colocar el envase bajo el grifo y llenar hasta las $\frac{3}{4}$ partes con el fin de permitir la mezcla antes de analizarla. Se tapa el envase rápidamente evitando cualquier contaminación.

➤ Para muestrear aguas de pozos:

1. Con bombas y grifos, se toman las mismas consideraciones señaladas anteriormente.
2. Sin bombas, se recomienda tomar la muestra directamente del pozo a través de un dispositivo, teniendo la precaución de no contaminar la muestra con la nata y espuma de la superficie, y no tocar las paredes del pozo. Generalmente las muestras se toman aproximadamente a 50 cm de la superficie.

En la preservación de la muestra se toma en cuenta las indicaciones de la Norma Venezolana COVENIN 2614:1994, que señala el cuadro 1.

Cuadro 1. Preservación de las muestras de agua para análisis microbiológico

Análisis	Envase	Volumen mínimo de muestra (ml)	Preservación	Almacenamiento max. Permitido después de captación
Coliformes	V, P	100	Temperatura 10°C	*6 horas **30 horas
<i>Streptococcus faecalis</i>	V, P	100	Temperatura 10°C	*6 horas **30 horas
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	V, P	100	Temperatura 10°C	*6 horas **30 horas

*=Agua no tratada, **=Agua tratada, V=Vidrio, P=Plástico (COVENIN 2614:1994)

Esta misma norma exhorta que en casos de muestras que no puedan refrigerarse, el almacenamiento será menos de una (1) hora. El tiempo entre toma de muestra y análisis, debe transcurrir en el menor tiempo posible y depende del tipo de ensayo y características de la muestra.

Técnicas analíticas para determinar la presencia de coliformes.

Contaje total de colonias.

El objetivo de este método es la determinación del contenido de microorganismos en la muestra de agua por volumen (mL) bajo condiciones definidas de cultivo. Se utiliza como un análisis auxiliar en el control de la potabilidad del agua y aporta información relevante (Guevara, 1996)

La técnica consiste en transferir cierta cantidad de muestra (1 mL aproximadamente) a una placa de Petri estéril, luego se agrega una cantidad establecida de medio de cultivo (12-15 mL) de Agar Standard, a una temperatura de 45°C (aproximadamente); finalmente se incuban a 35°C por un periodo de 48 horas $\pm$ 3. El conteo de las colonias se realiza directamente cuando no son muy numerosas y se multiplica por la dilución respectiva, cuando son muchas se utiliza el contado de colonias (COVENIN 1126:1989).

Tubos múltiples de fermentación.

Este análisis se basa en la determinación de la densidad del grupo coliformes expresado en términos del “Numero Más Probable” (NMP), por 100mL de muestra (COVENIN 3047:1993). Este NMP debe entenderse como un índice del número de bacterias coliformes que tienen mayor probabilidad

sobre cualquier otro número y no es la enumeración real de coliformes presentes. Guevara (1996) describe la técnica con tres pruebas (Figura 2):

Prueba presuntiva:

Para el caso de aguas de consumo humano se inocula una serie de 5 tubos de fermentación que contiene 20 mL de caldo lactosado estéril con 10 mL de muestra. Luego se incuban a la temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas y 48 horas, al cabo de estos tiempos se examinan los tubos. La presencia de gas en los tubos, constituye una prueba presuntiva positiva; lo contrario es una prueba negativa (Guevara, 1996).

Prueba confirmativa:

Se emplean tubos de fermentación con caldo lactosado con bilis y verde brillante, este medio es selectivo para los del grupo coliformes e inhibidor para la flora restante. Los tubos positivos de la prueba anterior se inoculan en una serie de 5 tubos con el medio de cultivo antes mencionado, se incuban a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. La presencia de gas en los tubos de fermentación, constituye una prueba confirmativa positiva. (Guevara, 1996)

Para separar los coliformes de origen fecal de los no fecales, se procede a la inoculación de los tubos positivos de la prueba confirmativa, en tubos con caldo lactosado y se incuban a 35°C durante 24 horas; de los tubos positivos se inoculan en una serie de 5 tubos con medio de enriquecimiento para coliformes (EC) y se incuban en baños de maría a $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de 6 a 24 horas. La presencia de gas se considera una reacción positiva que indica la presencia de organismos coliformes de origen fecal (Guevara, 1996).

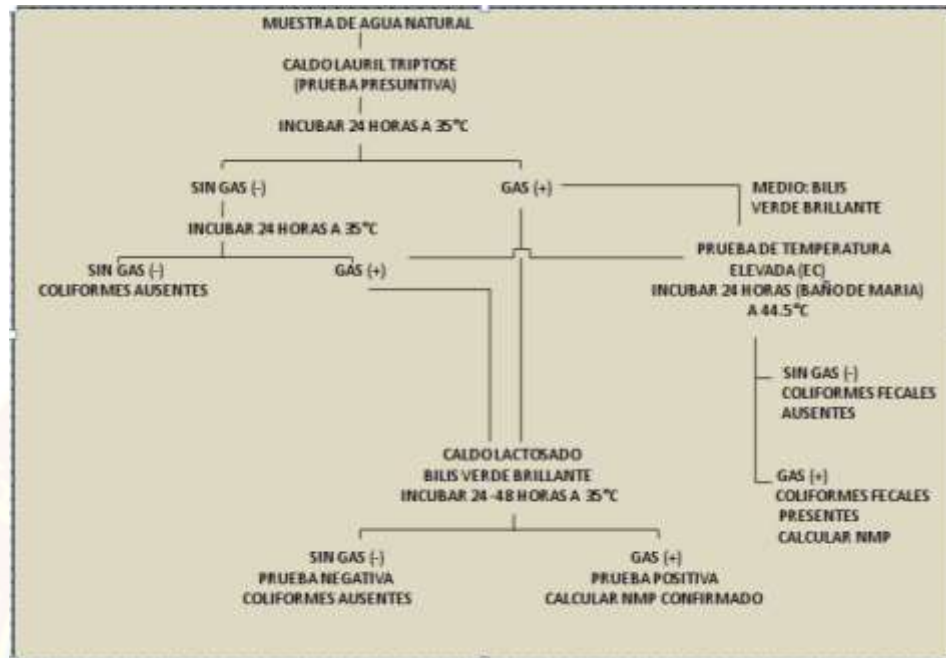


Figura 2. Diagrama esquemático para detectar coliformes totales y coliformes fecales.

Prueba completa:

Esta prueba generalmente no se efectúa como análisis de rutina, pero puede hacerse para el control de calidad de agua potable o para comprobar la validez de la prueba confirmativa. La prueba completa consiste en inocular Placas de Eosina Azul de Metileno o Agar de Endo a partir de los tubos confirmados positivos, luego se incuban a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Al cabo de este tiempo, las colonias formadas se replican en caldo Lauryl y tubos de Agar Nutritivo. Después del periodo de incubación, se preparan frotis para la tinción de Gram, que permite identificar los organismos Gram positivos y los Gram negativos (organismos coliformes) (Guevara 1996).

Contaminación bacteriológica de aguas subterráneas y su efecto en la salud y la agricultura.

De acuerdo con la OMS (2008), los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos).

La contaminación bacteriológica es la más peligrosa ya que dependiendo del tipo de microorganismos y su concentración puede producir enfermedades como: gastroenteritis, diarrea, tifus, septicemia, hepatitis, y cólera, pudiendo limitar el cultivo de algunas especies hortícolas como lechuga, repollo, tomates, coles, etc., en zonas urbanas y periurbanas (Varas, 2003).

López *et al.* (2009) manifiesta que la contaminación bacteriológica puede ser debida a:

- Actividades domésticas: es una contaminación orgánica, biológica y mineral, originada por fosas sépticas, pozos negros, fugas de sistemas de alcantarillado, vertido indiscriminado de aguas de residuales, y otras actividades (Figura 3).
- Actividades ganaderas: es una contaminación con matices muy similares a la producida por actividades domésticas, pero más concentrada e intensa, en especial en granjas intensivas

Es posible que las distintas fuentes de suministro de agua de los centros urbanos de países de ingresos bajos y medios se hallen seriamente contaminadas debido a la concentración de población con sistemas de

saneamiento rudimentarios y con efluentes municipales e industriales incontrolados. La gestión de los recursos hídricos se ha vuelto apremiante, dado que los agricultores lo utilizan frecuentemente para el riego y fertilizar las plantas, aguas en gran parte sin tratar. De tal modo, se incrementa el riesgo de enfermedades tanto para los agricultores como para los consumidores (FAO, s/f).



Figura 3. Contaminación de un pozo de extracción de aguas subterráneas por efecto de una fosa séptica

BASES LEGALES

La *Organización Mundial de la Salud* (OMS, 2008) en sus Guías para la calidad del agua potable, la Directiva 98/83/CE1 y otras normas internacionales, establecen o recomiendan requisitos de calidad para el agua de consumo humano. La normativa establece que el agua es apta bacteriológicamente para el consumo si se encuentra exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal.

La *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)*, en su artículo 304 establece las disposiciones necesarias de las aguas con el fin de garantizar su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico y los criterios de ordenación del territorio.

El *Decreto 883 (1995)*, reseñada en la Gaceta Oficial N° 5.021, diciembre de 1995 establece “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”, donde se establece la categorización de las aguas según su uso (doméstico, agropecuario, para contacto humano total y parcial, industriales). También establece los criterios de clasificación, así como los niveles de calidad exigibles para cada uso.

Tomando en cuenta la normativa sanitaria, el *Ministerio de Salud y Asistencia Social (1998)*, mediante las “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable”, publicada en Gaceta Oficial N° 36.395, febrero 1998, tiene como objetivo integral, establecer valores máximos de aquellas características del agua que representa un riesgo para la salud de la comunidad, o inconveniente para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

La *Ley de Aguas (2007)* en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.595 de fecha 02 de enero de 2007, tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés del Estado.

Las *Normas de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 1126:1989, 3047:1993, 2614:1994, 1104:1996, 2709:2002 y 2634: 2002*, fijan pautas para el análisis y tratamiento de aguas naturales, industriales y residuales, así como también establece cánones para el uso eficiente del agua potable y la toma de muestras para análisis microbiológicos.

ANTECEDENTES

Para el año 2005, Iriarte y Marín realizaron un estudio en el cual analizaron “Aspectos microbiológicos y físico-químicos de los pozos de agua de la isla de Margarita”, donde señalaron una presencia significativa de coliformes totales y fecales en algunos de los pozos, de acuerdo a un análisis de varianza realizado.

Martínez (2012), evaluó la “Calidad microbiológica y los niveles de nitratos y nitritos en las aguas del Río Guarapiche”. En cuanto al parámetro microbiológico, registró una presencia alarmante de microorganismos (mesófilos, coliformes totales y fecales), en los puntos cercanos a la planta de tratamiento del Bajo Guarapiche; según el autor, producto del crecimiento involucrado de los establecimientos poblacionales e incumplimientos de la Ley de Ordenamiento del territorio.

Solórzano (2016) en el trabajo de grado “Hidráulica y calidad de las aguas subterráneas en los municipios Bolívar y Púnceres del estado Monagas, con fines de consumo humano”, realizó un estudio físico, químico y biológico de las aguas subterráneas; los parámetros hidráulicos como los caudales estuvieron por el orden de 3,30 a 1,90 L/s. Por su parte, el nivel estático se encontró a una profundidad promedio de 9 m para los pozos del

Municipio Bolívar y 30 m en el Municipio Púnceres. Los resultados indican que el pozo con la situación más crítica de coliformes fecales se encontró en la estación de la Curva de Miraflores.

Veliz B. (2019) en el trabajo de grado titulado “Evaluación del índice de calidad del agua (ICA) en fuentes subterráneas de la ciudad de Maturín estado Monagas, Venezuela (año 2016)” menciona que de las catorce variables de calidad del agua evaluadas los coliformes fecales, fenoles, manganeso, nitrito, nitrato y el hierro fueron los de mayor importancia en la determinación del Índice de la calidad de agua para consumo humano. Los valores de ICA van desde de 15,42 (Pozo 6) hasta 604.99 (Pozo 1). El impacto de varias actividades antropogénica fue evidente en estas variables. Se sugiere el monitoreo de los pozos constantemente para una gestión adecuada. La aplicación del ICA es recomendada como una herramienta muy útil que permite tomar decisiones y evaluar la calidad del agua de los pozos en la ciudad de Maturín estado Monagas.

MARCO METODOLÓGICO

DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Durante la realización de este trabajo de investigación, se accedió a la delimitación señalada en la poligonal del Plan de Ordenamiento Urbanístico de la ciudad de Maturín realizado por el Ministerio de Infraestructura (2001) (Figura 4).

Con imágenes satelitales obtenida de la aplicación Google Earth (2017), se visualizó el crecimiento poblacional de la ciudad de Maturín, sobre todo en las zonas que colindan con la poligonal urbana, los cuales han incrementado aún más la demanda de agua destinado a las actividades agrícolas y el consumo humano, enfatizando que aún existen localidades con vocación agrícola dentro de su esquema de vida.

Se escogieron al azar ocho (8) pozos activos de las comunidades seleccionadas, ubicadas entre las zonas del sector Norte, Sur, Este y Oeste de la ciudad de Maturín (Figura 5). Previamente se comprobó que los pozos elegidos tuvieran algún registro o referencias cualitativas y cuantitativas, para de esta manera poder comparar con los resultados de los análisis realizados durante los meses de marzo hasta mayo del año 2016.

Entre las localidades seleccionadas, se encuentran:

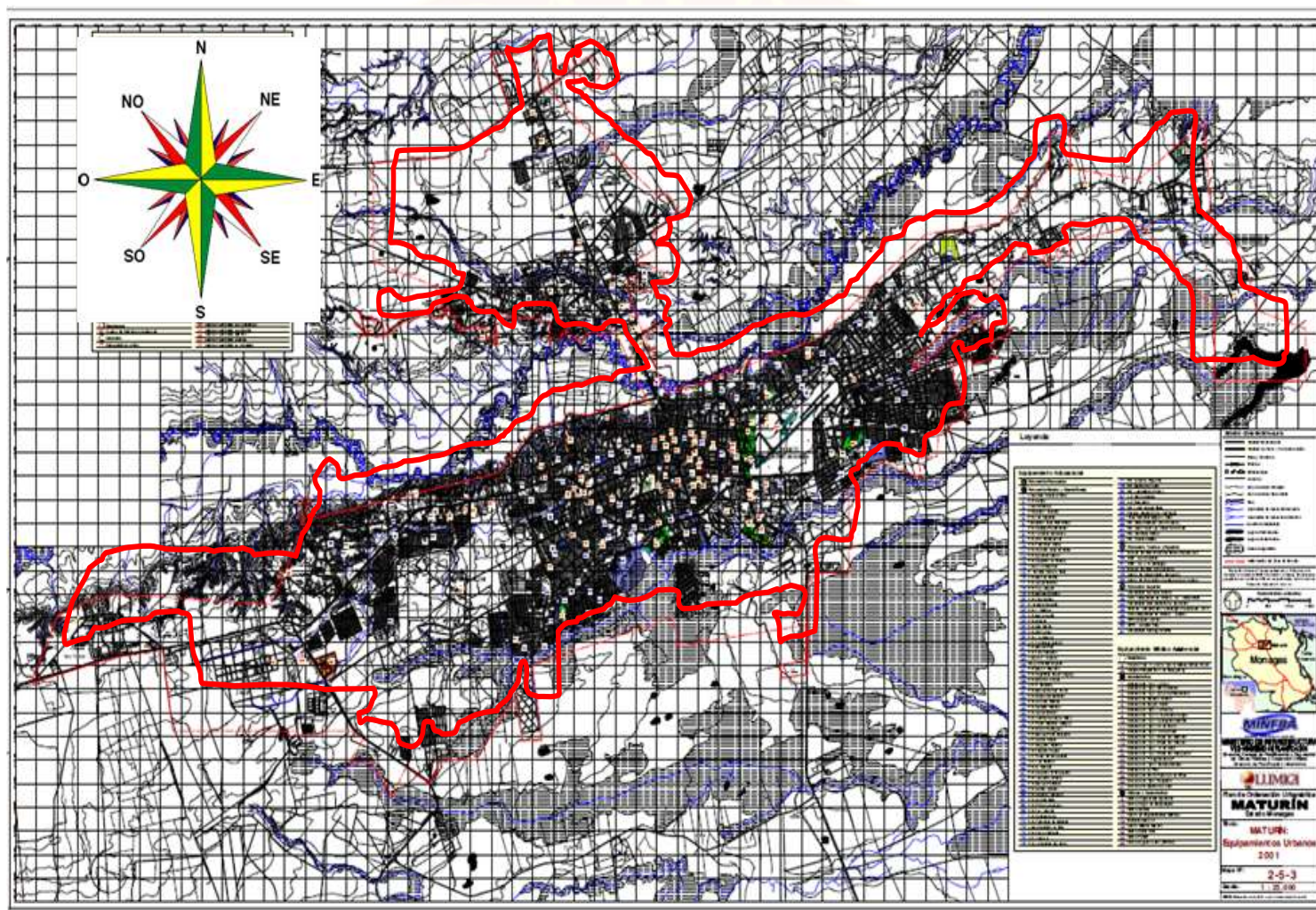


Figura 4. Mapa con la delimitación del Plan de Ordenamiento Urbanístico de la ciudad de Maturín



Figura 5. Ubicación de los pozos muestreados de las zonas periurbanas de la Ciudad de Maturín.

- ❖ *Sector Norte:* Se ubican algunas urbanizaciones y parcelas productivas en comunidades rurales y urbanas. Se seleccionaron los pozos de la localidad de Plantación y la urbanización Godofredo González de la Parroquia Boquerón municipio Maturín.
- ❖ *Sector Sur:* Se sitúan construcciones de urbanismos no planificadas y los proyectos de expansión urbana de la ciudad de Maturín dentro de lo que antiguamente era el Hato Rosillo, que en este momento presenta varios proyectos de urbanismos e invasiones. Las muestras de aguas, para el estudio, se tomaron en los pozos de la Urbanización Lomas del Viento y la comunidad campesina “Cruz Hernández Quijada” del sector Guanaguaney.
- ❖ *Sector Este:* Se tomaron en cuenta un sector de la parroquia La Pica y otro de Las Cocuizas; a pesar que una gran parte de estos sectores tienen conexión a la red de distribución de agua potable de las Plantas de Tratamientos de Aguas de Monagas (Guarapiche y Mundo Nuevo), solamente las nuevas urbanizaciones están perforando sus respectivos pozos para no conectarse a la aducción principal de la red de Aguas de Monagas. Los pozos seleccionados en estos sectores fueron los de la urbanización Los Tapiales 2 y la Escuela Técnica Agropecuaria Robinsoniana “Simón Bolívar”.
- ❖ *Sector Oeste:* Se seleccionaron los pozos cerca de la Zona Industrial de la ciudad de Maturín, donde se encuentra un conjunto de urbanizaciones privadas, semiprivadas y públicas con múltiples pozos dentro de los conjuntos residenciales. La toma de las muestras de agua se recolecto de uno de los pozos ubicado en la Urbanización Juana La Avanzadora y otro en la comunidad Brisas del Guarapiche del Sector de San Vicente.

En el Cuadro 2, se registra las coordenadas geográficas y UTM de los pozos ubicados en las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín, donde se realizaron las respectivas recolecciones de muestras de agua. Todos estos urbanismos y comunidades rurales fueron seleccionados tomando como criterio la cercanía de los pozos a fuentes superficiales aparentemente contaminadas y por actividades antrópicas que pudieran estar afectando a estos acuíferos, que son usados para consumo directo y para riego por los habitante de cada una de estas localidades.

Cuadro 2. Coordenadas de los pozos tomados como estaciones de muestreo en las zonas periurbana de la ciudad de Maturín, Estado Monagas, Venezuela.

ZONA	POZO	SECTOR O URBANIZACIÓN	COORDENADAS				ALTITUD(m)
			GEOGRAFICAS		UTM		
			LAT	LONG	NORTE	ESTE	
Norte Urbana (ZNU)	1	Urb. Godofredo González	9°45`57”	63°12`23”	1079529,3	477395,1	51
Norte Rural (ZNR)	2	Comunidad de Plantación	9°48`57”	63°09`34”	1085054,6	482515	43
Sur Urbana (ZSU)	3	Urb. Lomas del Viento	9°41`58”	63°08`58”	1072185,9	483606,7	55
SurRural (ZSR)	4	Comunidad Campesino Cruz Hernández Quijada	9°41`04”	63°13`02”	1070544	476173	72
Este Urbana (ZEU)	5	Urb. Los Tapiales II	9°44`45”	63°07`27”	1077313	486381	45
Este Rural (ZER)	6	Escuela Técnica Agropecuaria Simón Bolívar. Parari	9°46`50”	63°07`15”	1081152,5	486748,4	53
Oeste Urbana (ZOU)	7	Conjunto Residencial Juana la Avanzadora	9°42`15”	63°14`50”	1072714,3	472881,3	96
Oeste Rural (ZOR)	8	Comunidad de San Vicente	9°42`57”	63°18`23”	1074009,5	466392,2	98

Nota: Cuadro elaborado con datos extraído de dispositivo GPS modelo Garmin.

MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados en esta investigación fueron:

- **Para medición de parámetros hidráulicos.**
 - GPS Garmin V.
 - Recipiente aforado para la recolección del agua.
 - Cronómetro.
 - Sonda de nivelación.
- **Para toma de muestras de parámetros bacteriológicos:**
 - Material auxiliar de seguridad e higiene
 - Envases plásticos esterilizados.
 - Cava con hielo para la conservación de muestras.
- **Para análisis bacteriológico en laboratorio:**
 - Caldo Lauryl Sulfato Triptosa.
 - Caldo Billis Verde Brillante.
 - Caldo EC.
 - Agua peptonada.
 - Cilindro graduado.
 - Matraz Erlenmeyer.
 - Frascos de dilución.
 - Tubos de ensayo.
 - Pipetas graduadas.
 - Punteros.
 - Algodón.
 - Gradillas.

- Autoclave
- Balanza analítica
- Mechero
- Estufa
- Baño de María

METODOLOGÍA

Esta investigación corresponde a un proyecto factible de carácter exploratorio y descriptivo, realizado durante 3 meses consecutivos comenzando desde el mes de marzo hasta mayo del año 2016, donde se comprobó el comportamiento hidráulico del agua subterránea y calidad bacteriológica en los pozos, de ciertas zonas rurales y urbanas de la ciudad de Maturín.

Se procedió a determinarlas características hidráulicas (caudal, nivel estático, nivel dinámico y abatimiento) y los parámetros bacteriológicos (coliformes totales y coliformes fecales) de las muestras de aguas extraída de los ocho pozos operativos ubicados dentro de las comunidades seleccionadas cerca de la ciudad de Maturín, con distribución espacial en los sectores norte, sur, este y oeste de la ciudad.

Las técnicas para la recolección de datos de las diferentes variables, fueron en los sitios de muestreo; y los análisis de laboratorio, se desarrollaron mediante la aplicación de tres fases operativas, descritas a continuación:

Fase I. Labores previas a la salida de campo.

Se mantuvo una lista de los instrumentos y equipos necesarios, que permitió evaluar la disponibilidad de cada uno de ellos para el trabajo en campo, estando conformada por libreta de apuntes, planillas de muestreo, cronometro, recolector de muestra previamente esterilizado, entre otros. Además, se contactó a los operadores de los pozos seleccionado para definir el procedimiento a seguir. Conjuntamente con la libreta e información básica, se verifico las condiciones del equipamiento para la realización del aforo y toma de muestra. Del mismo modo se procedió a realizar una lista con la instrumentación necesaria para iniciar los análisis en el laboratorio.

Fase II. Actividades en el campo

Parámetros hidráulicos

- a) **Aforo o Caudal:** El caudal se determinó con el método volumétrico, que consistió en descargar agua del pozo, interponiendo un recipiente con volumen conocido. De acuerdo a las condiciones de la estructura de los pozos y el suelo de la zona donde se descarga el agua, se utilizaron recipientes de 15 a 20 litros, y con un cronómetro se contabilizó el tiempo de llenado del recipiente.

El proceso inició en el momento que el recipiente se introdujo a la corriente de agua y se detuvo en el momento en que se llenaba y se retiraba de ella. Se realizaron 5 repeticiones para obtener un promedio del tiempo. Posteriormente, el caudal fue calculado mediante la ecuación 4, señalada por la Comisión Nacional del Agua de México (CNAM, 2007).

b) **Nivel Estático y Dinámico:** Los niveles estático y dinámico se obtuvieron con una sonda de nivelación que tiene 100 m de cinta con una plomada electromagnética en la punta. El procedimiento consistió en introducir la plomada en el orificio donde se encuentra los cables eléctricos de la bomba sumergible hasta que tocará el nivel del agua.

Para el **nivel estático**, la bomba se apagó durante 45 minutos, pasado ese tiempo se introduce la sonda electromagnética en el pozo y al tocar el agua este equipo emite una señal al aparato que se encuentra en la superficie, visualizando las medidas en la cinta del equipo. En el caso del **nivel dinámico** se procedió de la misma manera, pero se introdujo la sonda cuando la bomba se encontraba en funcionamiento, obteniéndose así las diferentes medidas que se registraron para los parámetros hidráulicos en cada pozo.

c) **Abatimiento:** Luego de comprobarlos dos niveles en el campo, se registró en una hoja de cálculo (Excel) los valores correspondientes del nivel estático y nivel dinámico, de esta manera se determinó el abatimiento del agua dentro del pozo, presentando los resultados correspondientes con el análisis de los mismos.

Parámetros bacteriológicos

a) **Muestreo:** La recolección de muestra para el análisis bacteriológico se aplicó con el método de la norma COVENIN 2614:1994 de Toma de Muestra de Agua. Por lo que se observó las características de la zona donde se tomaron las muestras de agua y al finalizar la recolección se colocaron en una cava con hielo, para ser trasladado al laboratorio, las

mismas se analizaron en un periodo no mayor de 6 horas después de su captación.

- b) **Identificación y control de muestras:** Cada envase, con la muestra de agua, fue identificado con una etiqueta utilizando como nombre una nomenclatura basada en el sitio de muestreo o zona de ubicación, tipo de comunidad y el mes de la extracción de muestra de la fuente de agua (Por ejemplo: ZNU-Marzo). Se realizó un registro con los datos indicados en la etiqueta del envase para llevar el control de las muestras. Con esta información se obtuvo una referencia común entre la libreta de campo y las hojas de recolección de muestras por mes y pozos.

Fase III. Actividades en el Laboratorio

Se trasladaron las muestras de aguas al laboratorio de Microbiología de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, campus Los Guaritos procediendo a determinar los valores de los parámetros bacteriológicos por medio del método de los tubos múltiples aplicando la técnica del Número Más Probable (NMP) para Coliformes Totales y Fecales:

a) Preparación de diluciones decimales seriadas según COVENIN

1126-89: Se realizó una previa limpieza de la zona de trabajo, con gasas impregnadas en Fenol al 5% y la utilización de un mechero; luego se procedió a tomar 1 mL de las muestras de agua de los pozos y se trasvasó a un frasco de dilución estéril con 9 mL de agua peptonada (diluyente) al 0,1 %, de esta manera se obtuvo una dilución 1:10. Este procedimiento se repitió a partir de esta dilución, para preparar la dilución 1:100. Obteniendo entonces, la muestra de agua de los pozos y seis diluciones de ellas (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}).

b) Determinación de coliformes totales y fecales según COVENIN 3047-93 y 1104-96):-.

- *Prueba presuntiva:* Se tomó 1 mL de las diluciones decimales seriadas y se inoculó en tres tubos por dilución con caldo de Lauril Sulfato Triptosa (CLST) con tubos de ensayo, procediéndose a agitar para homogenizar y posteriormente trasladarlos a la estufa para incubar a 37°C por 24 horas. Transcurrida las 24 horas se procedió a la lectura, tomando como tubos positivos aquellos que presentaron cambio de color de azul-púrpura a amarillo (producción de ácido) y la formación de burbuja de gas (CO₂) en el interior del tubo de ensayo, por el contrario los tubos que no presentaron esta reacción fueron tomados como negativos y descartados.
- *Prueba confirmatoria para coliformes totales:* se inoculó 1 mL de muestra de los tubos positivos de la prueba anterior, en tubos de caldo bilis verde brillante (LBVB) estéril, estos fueron incubados a 37°C por 24 horas. Se consideraron como tubos positivos los que presentaron producción de gas (burbuja) y crecimiento (turbidez), los que no presentaron esta reacción fueron considerados negativos y descartados. Los resultados obtenidos se extrapolaron a la tabla de Número Más Probable (NMP) (Anexo A), y se reportaron como NMP coliformes totales/mL.
- *Prueba confirmatoria de coliformes fecales:* De los tubos positivos obtenidos en caldo bilis verde brillante (LBVB) se transfirió una asada a los tubos con caldo de enriquecimiento para coliformes (caldo E.C), previamente temperado a 45°C. Se incubaron en baño maría a 45°C durante 24 h y se tomaron como tubos positivos aquellos con presencia de gas, los tubos que no presentaron esta reacción fueron considerados negativos y descartados. Seguidamente los resultados

obtenidos fueron extrapolados en la tabla de NMP y se expresaron como NMP coliformes fecales/mL.

Todos los resultados se anotaron en una libreta de apuntes para luego vaciar dichos datos en unas planillas formato Excel y de esta manera poder interpretar los resultados. Además, todos estos métodos fueron escogidos tomando en consideración la disponibilidad de equipos y reactivos dentro de los laboratorios de la Universidad de Oriente.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Al conjunto de datos obtenidos se le realizó un Análisis de Varianza (ANAVA) convencional, con un nivel de probabilidad de 0,05, para detectar diferencias significativas en el tiempo y en los sitios de muestreo, en cada una de las variables determinadas, utilizando el programa SAS versión 9.0. Los estadísticos descriptivos se obtuvieron con el paquete estadístico SPSS versión 8.0, cada uno de los resultados se registraron en números absolutos, en función de los parámetros e indicadores respectivos. Los datos se presentan en cuadros y gráficas, que permiten una mayor comprensión de estos resultados y facilita el análisis para su respectiva discusión

Al finalizar con todos estos análisis estadísticos, se recurrió a comparar con los reglamentos jurídicos en el ámbito ambiental (Decreto 883), las normas COVENIN 2634:2002, la normativa Sanitarias para Agua potable en el país, y la Organización Mundial de la Salud a nivel internacional, relacionada con la calidad del agua potable para el consumo humano y uso en la agricultura para el caso de los parámetros bacteriológicos.

DISCUSIONES DE RESULTADOS

SITUACION ACTUAL Y COMPONENTES HIDRAULICOS DE LOS POZOS.

En las observaciones realizadas a cada pozo, se pudo reseñar su condición actual, como las estructuras hidráulicas que la componen.

P-1 Zona Norte Urbana (ZNU): ubicado en la Urbanización Godofredo González de la parroquia Boquerón, tiene una profundidad de 120 metros y entubada a 80 metros, la tubería de succión tiene un diámetro de 4 pulgadas y resguarda la bomba sumergible de 15Hp. El agua extraída es pasada al tanque de almacenamiento para luego ser distribuida a la comunidad (Figura 6). Cercano al pozo se encuentra el río Guarapiche y las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la urbanización; encontrándose esta última en total deterioro y con desbordamientos de las aguas residuales en gran parte de la estructura.



Figura 6. Condiciones actuales del Pozo 1 de la Zona Norte Urbana (ZNU), Urbanización Godofredo González, Parroquia Boquerón.

P-2 Zona Norte Rural (ZNR): está ubicado en el sector Plantación de Viboral, parroquia Boquerón, fue perforado con una profundidad de 120m aproximadamente, presenta una bomba sumergible de 10 Hp acoplada a una tubería de succión de 2 pulgadas. A pesar de tener un tanque de almacenamiento, el agua se distribuye directamente a la red de la comunidad (Figura 7).



Figura 7. Condiciones actuales del Pozo 2 de la Zona Norte Rural (ZNR), Sector Plantación de Viboral, parroquia Boquerón.

Este pozo debe tener influencia de un morichal, que para su beneficio, pudiera estar ayudando a la restauración del agua al acuífero, sin embargo se observaron focos de contaminación por aguas residuales de urbanismos y zonas aledañas que desembocan en él así como la cercanía de pozos sépticos provenientes de las casas de ese sector.

P-3 Zona Sur Urbana (ZSU): este es uno de los pozos que se ubica en la Urbanización Lomas del Viento, vía al Sur de la ciudad de Maturín, Parroquia San Simón Rural; el pozo cuenta con 80 m de profundidad y retroalimenta al segundo pozo del urbanismo, tiene una bomba sumergible de 15 Hp y tubería de aducción de 4 pulgadas. Recarga al tanque de la urbanización (Figura 8).



Figura 8. Condiciones actuales del Pozo 3 de la Zona Sur Urbana (ZSU) Urbanización Lomas del Viento, parroquia San Simón Rural

P-4 Zona Sur Rural (ZSR):En cuanto al pozo 4 ubicado en la Zona Sur Rural (ZSR) específicamente en el Consejo Comunal Campesino “Cruz Hernández Quijada” del sector Guanaguaney (Figura 9), está compuesto por un aljibe de 12 m de profundidad, posee una bomba centrífuga de 5,5 Hp, la tubería de succión es de 2 pulgadas y no cuenta con las condiciones de infraestructura adecuadas.



Figura 9. Condiciones actuales del Pozo 4 de la Zona Sur Rural (ZSR) Consejo Comunal Campesino "Cruz Hernández Quijada" del sector Guanaguaney, parroquia Alto Los Godos.

Este pozo es manipulado y aprovechado solo por los dueños de la instalación donde se ubica, por lo que el agua extraída es usada para consumo personal y para el riego de sus plantaciones.

P-5 Zona Este Urbana (ZEU): localizado en la urbanización Los Tapiales II de la parroquia Las Cacuizas. Es el sistema principal de bombeo de agua para esta urbanización, lo cual surte de forma directa a la población de la localidad. Su profundidad es de aproximadamente 98 metros, con tubería de succión de 3 pulgadas a una profundidad de 42 metros y la bomba es sumergible con un potencial de 15 Hp (Figura 10). De acuerdo a información suministrada por el operador este pozo surte de agua a 546 viviendas.



Figura 10. Condiciones actuales del Pozo 5 de la Zona Este Urbana (ZEU), urbanización Los Tapiales II parroquia Las Cacuizas

P-6 Zona Este Rural (ZER): este pozo se ubica dentro de la escuela Técnica Agropecuaria Robinsoniana “Simón Bolívar”, sector Parari de la parroquia La Pica. Cuenta con una profundidad de 80 metros donde se encuentra acoplada una tubería de 2” y una bomba sumergible que no fue suministrada esta información por desconocimiento del personal actual(Figura 11). Este pozo solo surte a las instalaciones de la institución tanto para uso doméstico como para el área agrícola desarrollada en la misma.



Figura 11. Condiciones actuales del Pozo 6 de la Zona Este Rural (ZER) E.T.A Robinsoniana “Simón Bolívar”, Sector Parari, parroquia La Pica.

P-7 Zona Oeste Urbana (ZOU): está localizado en el Conjunto Residencial Juana la Avanzadora, Zona Industrial de la ciudad de Maturín, parroquia Santa Cruz. Este pozo es uno de los cuatros (4) pozos que tiene este complejo habitacional, el mismo tiene una profundidad de 95 metros, con tubería de aducción de 4 pulgadas y una bomba sumergible de 20Hp (Figura 12). El agua extraída del pozo es traspasada a un tanque elevado que se encarga de distribuir a la red de distribución del urbanismo.



Figura 12. Condiciones actuales del Pozo 7 de la Zona Oeste Urbana (ZOU), Conjunto residencial Juana La Avanzadora, parroquia Santa Cruz.

P-8 Zona Oeste Rural (ZOR): ubicado en la comunidad de San Vicente, parroquia San Vicente, cuenta con una profundidad de 89 metros, una tubería de succión de 3" y la bomba sumergible es de 15 Hp (Figura 13). Surte a gran parte de la comunidad y algunas parcelas que se encuentra cerca a este pozo. A pesar de tener un tanque elevado en su adyacencia, el agua es llevada de forma directa a la red de distribución



Figura 13. Condiciones actuales del Pozo 8 de la Zona Oeste Rural (ZOR) sector San Vicente parroquia San Vicente.

De forma general, las zonas adyacentes a los pozos se visualizó la presencia de afluentes superficiales como ríos, lagunas, morichales, entre otros; ayudando a restaurar los niveles de agua o en contraste, fuentes contaminantes como pozos sépticos y plantas de tratamientos de aguas residuales que afectan la calidad del agua de los mismos.

Para resumir, se elaboró el cuadro 3 con las descripciones de los componentes hidráulicos de cada pozo, tomando en cuenta la profundidad del pozo, condiciones físicas de las tuberías de succión, diámetros; y la potencia de la bomba de succión.

Cuadro 3. Componentes y características hidráulicas de los pozos en áreas de estudio.

Pozo	Estación	Profundidad Pozo (m)	Condición física	Diámetro tubería Succión (")	Potencia de bomba (Hp)
P-1	ZNU	120.00	Bien	4"	15
P-2	ZNR	120.00	Bien	2"	10
P-3	ZSU	90.00	Bien	4"	15
P-4	ZSR	12.00	Regular	2"	5,5
P-5	ZEU	98,00	Bien	3"	15
P-6	ZER	80,00	Regular	2"	NR
P-7	ZOU	95,00	Bien	4"	20
P-8	ZOR	89,00	Bien	3"	15

NR: no reportado

La profundidad de los pozos seleccionados oscilaron entre 80 a 120 metros, solo el pozo P-4 (ZSR) presento una profundidad menor de 12 metros por su uso particular. Con respecto a las condiciones físicas del pozo, la mayoría se encontraba en buen estado solo los que corresponde al pozo ZSR y ZER presentaba el área descubierta y alto contenido de óxido en la superficie.

Las tuberías de succión de los pozos presentan diámetros que oscilan entre 2 a 4 pulgadas, con bombas tipo sumergibles de 10, 15 y 20 Hp, solo el pozo de ZSR tiene bomba centrífuga de 5,5 Hp. Además cada pozo cuenta con un tanque para el almacenamiento del agua, algunos están inactivos por falta de mantenimiento, y pasan el agua directamente a la red de aguas blancas, sobre todo en los pozos que están en los sectores rurales.

Córcega (2007) y MINAMB (2008), reporta que los pozos en las zonas rurales del estado Monagas específicamente en el municipio Maturín y

Libertador presentan profundidades entre 30 hasta 110 metros, con tuberías de succión entre 2 a 3 pulgadas,

También Solórzano (2017) hace referencia de pozos profundos en los municipios Púnceres y Bolívar a una profundidad mayor (150 metros), lo que demuestra que los pozos ubicados en las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín presentan un rangomuy similar en las profundidades de los pozos, sin embargo en las zonas urbanas las tuberías de succión tienen un diámetro mayor(4 pulgadas) para el manejo de mayor volumen, presión y acople de bombas sumergibles de mayor potencia para la extracción del agua subterránea

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS POZOS

Los pozos evaluados responden a diferentes características, de acuerdo a la zona donde están ubicados y a su capacidad de recarga, como resultado de la infiltración y escorrentía de fuentes superficiales que se encuentre cerca del mismo. Cabe destacar que las primeras valoraciones fueron obtenidas durante los meses de Marzo y Abril, períodos críticos de sequía, y las últimas durante el mes de Mayo, en el cual se presentaron las primeras precipitaciones del año.

El cuadro 4y 5 presentan los resultados de las variables que determinan las características hidráulicas y las estadísticas descriptivas de los parámetros hidráulicos, como nivel estático de cada pozo seleccionado para su muestreo, así como el nivel dinámico, abatimiento y caudal en cada zona de muestreo y meses correspondientes

Cuadro 4. Características hidráulicas de los pozos seleccionados en las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín durante periodo marzo-mayo 2016.

POZO	MES	NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	ABATIMIENTO (m)	CAUDAL (L/S)
ZNU	Marzo	10,70	13,44	2,74	8,64
	Abril	10,45	13,44	2,99	11,80
	Mayo	11,19	14,00	2,81	12,17
ZNR	Marzo	7,40	18,00	10,60	7,14
	Abril	8,50	18,50	10,00	6,05
	Mayo	8,10	17,40	9,30	7,01
ZSU	Marzo	30,30	32,15	1,85	2,92
	Abril	28,40	30,15	1,75	3,00
	Mayo	28,50	30,15	1,65	2,89
ZSR	Marzo	5,92	6,24	0,32	0,64
	Abril	6,20	6,50	0,30	1,21
	Mayo	6,20	6,50	0,30	1,21
ZEU	Marzo	20,30	25,17	4,87	2,69
	Abril	19,80	25,05	5,25	4,85
	Mayo	19,10	24,50	5,40	2,47
ZER	Marzo	12,88	13,84	0,96	3,93
	Abril	13,00	14,40	1,40	4,03
	Mayo	13,40	14,40	1,00	4,22
ZOU	Marzo	38,35	40,30	1,95	4,00
	Abril	38,70	40,30	1,60	4,16
	Mayo	37,70	40,30	2,60	4,42
ZOR	Marzo	31,10	32,50	1,40	4,30
	Abril	30,70	32,00	1,30	4,00
	Mayo	31,00	32,00	1,00	4,00

Nota. Resultados obtenido del muestreo de los pozos seleccionado en la ciudad de Maturín.

Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de los parámetros hidráulicos de los pozos seleccionados en las zonas periurbana de la ciudad de Maturín

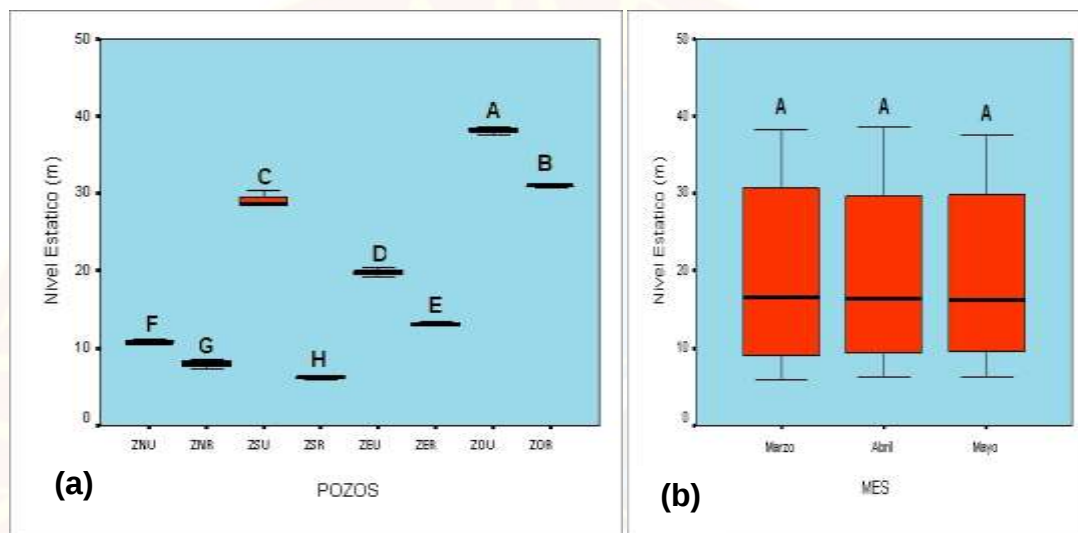
PARAMETROS	NE	ND	Abati	Caudal
N	24	24	24	24
Media	19,4954	22,5512	3,0558	4,6562
Mediana	16,25	21,5	1,8	4,015
Mediana agrupada	16,25	21,5	1,8	4,0225
Error típico de la media	2,33609	2,22797	0,61777	0,59783
Suma	467,89	541,23	73,34	111,75
Mínimo	5,92	6,24	0,3	0,64
Máximo	38,7	40,3	10,6	12,17
Rango	32,78	34,06	10,3	11,53
Varianza	130,976	119,132	9,159	8,578
Desviación típica	11,44446	10,91476	3,02642	2,92877
Curtosis	-1,388	-1,138	1,556	1,725

Nivel Estático

Según el análisis de varianza (Cuadro 9 y 10 del Anexo A) el nivel estático del agua dentro de los pozos solo presento diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ($P \leq 0.05$) y no durante el tiempo de la investigación. Presentado un promedio de $19,495 \pm 11,44\text{m.}$ de desviación típica, con valores máximo de 38.7m. de profundidad y un mínimo de 5.92m. (Cuadro 4 y 5).

La gráfica 1(a), indican la variación que presenta cada pozo mostrando diferencias entre los mismo, siendo los localizados en la zona oeste los que presentaron mayor valor en el nivel estáticos, con un promedio de 38,25m de

profundidad en el pozo ZOU (Conjunto Residencial Juana La Avanzadora) y los puntos más someros correspondió a la ZSR (C.C. Campesino "Cruz Hernández Quijada" sector Guanaguaney) con 6,10 m de profundidad.

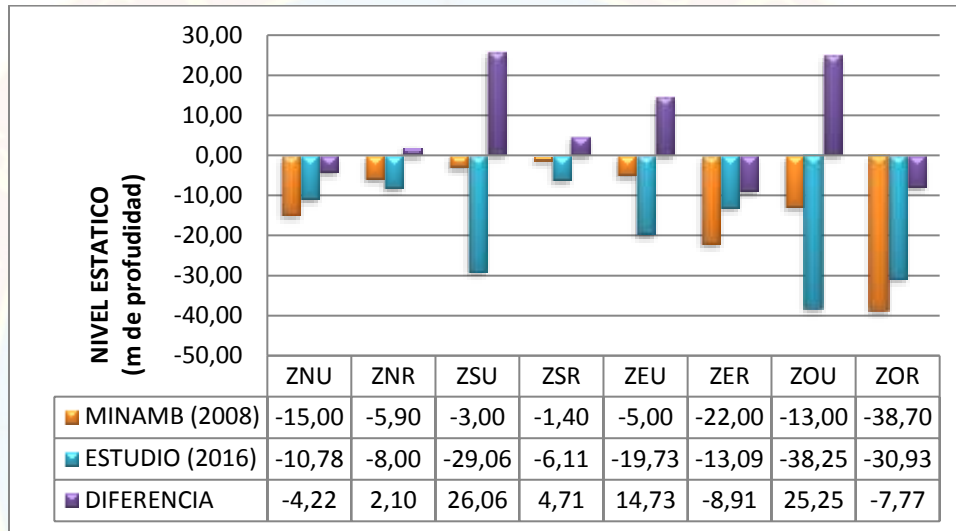


Gráfica 1. Variación del Nivel Estático en(a) los pozos seleccionados y (b) meses de estudio mediante cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.

En cuanto a la variación por los meses de estudio, Gráfica 1 (b), se observa durante la evaluación, la poca variabilidad de los niveles estáticos, notándose el mayor descenso durante los meses de marzo y abril, correspondientes a épocas de sequía, recuperándose en una mínima variación durante el mes de mayo en la mayoría de los pozos.

Este cambio del nivel estático en cada zona puede estar influenciado por la demanda de agua que existe en cada sector y la fuente hídrica que sustenta los acuíferos.

Sin embargo los estudios realizado por MINAMB (2008) en pozos cercano a las áreas de estudio (Cuadro 17 del Anexo A) comparado con los resultados de esta investigación, se observa en la Gráfica 2 el descenso contundente de este parámetro a través de tiempo (años) en los pozos de las zonas urbanas ZSU (26,06 m), ZOU (25,25 m) y ZEU (14,73 m)



Gráfica 2. Variación temporal del Nivel Estático en los años 2008 y 2016 con diferencia del descenso y ascenso.

De acuerdo a Martínez *et al.*, (2011) y De Freitas y Coronel, (2012) la zona de estudio está dentro del área de la Formación Mesa y Las Piedras, a quienes se le atribuye la mayor disposición de acuíferos someros no confinados a nivel regional, sobre todo el acuífero de la Mesa de Guanipa y los ríos Amana y Guarapiche, quienes se le puede también atribuir la recuperación de los acuíferos de donde se extrae el agua que utilizan las comunidades de Maturín, a parte de los aportes por las condiciones climáticas.

Es por eso que el comportamiento de los acuíferos se mantienen en todo el estado Monagas, así lo señala Solórzano (2016) quien determinó niveles estáticos análogos, en los municipios Bolívar y Púnceres, con valores por el orden de 6.48 m y 33.20 m, correspondiendo a los valores más someros o superficiales a los pozos ubicados en el municipio Bolívar y los más profundos en el municipio Púnceres.

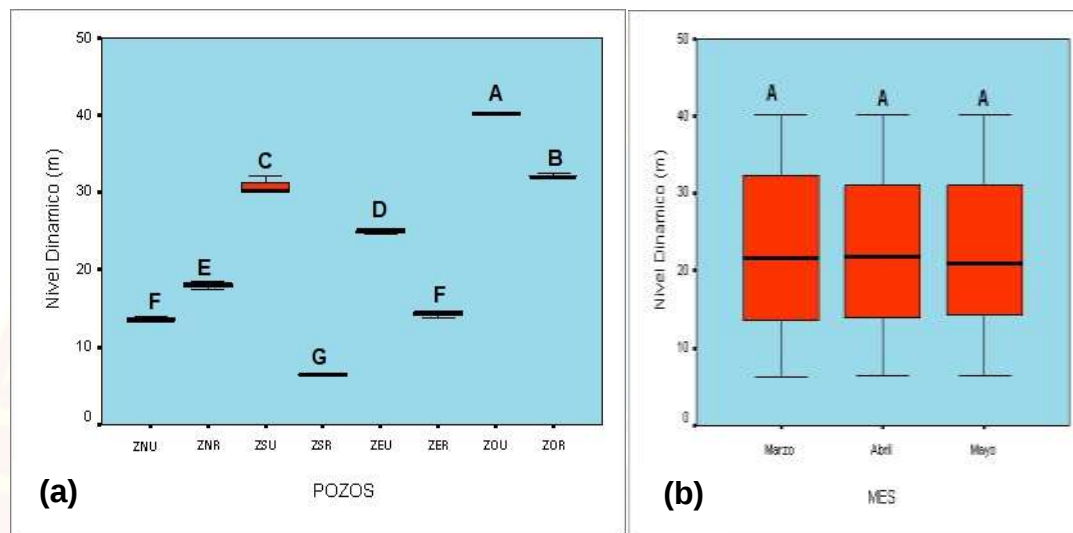
En lo que respecta al descenso del nivel estático en las zonas urbanas, Vizcaíno (2017) refiere que pudo ser originado por el alto índice de extracción de agua en ciertas zonas de la ciudad de forma simultánea, por la demanda generada durante el año 2016 ocasionada por el periodo de sequía en ese mismo año, es así que se consideró el estudio realizado al año siguiente por la empresa Varelca (2017) a uno de los pozos del conjunto residencial Juana la Avanzadora (ZOU) notándose una recuperación del nivel estático en 17,65m de profundidad y el climograma (Anexo C)

Nivel Dinámico

El nivel dinámico del agua de un pozo es producto del descenso ocasionado durante el funcionamiento de la bomba; los pozos presentaron diferencias significativas entre las diferentes estaciones de muestreo, mas no en los meses de estudio (Cuadro 11 y 12 del Anexo A). El nivel dinámico presenta un promedio general de $22,551 \pm 10,914$ m. de desviación típica, con valor máximo de 40,3 m. de profundidad y mínimo de 6,24m. (Cuadro 5).

Para esta variable, las cajas de ploteo en los pozos (Gráfica 3(a) y 3 (b)), indican que el descenso máximo fue de 40,30 m, ocurrido en la zona oeste urbana (ZOU), y la mínima de 6,41 m de descenso en la zona sur rural (ZSR)- Sin embargo el comportamiento de este nivel dinámico en el tiempo

de estudio obtuvo una variación muy mínima, ocurriendo el mayor descenso promedio de 22,70 metros en el mes marzo.



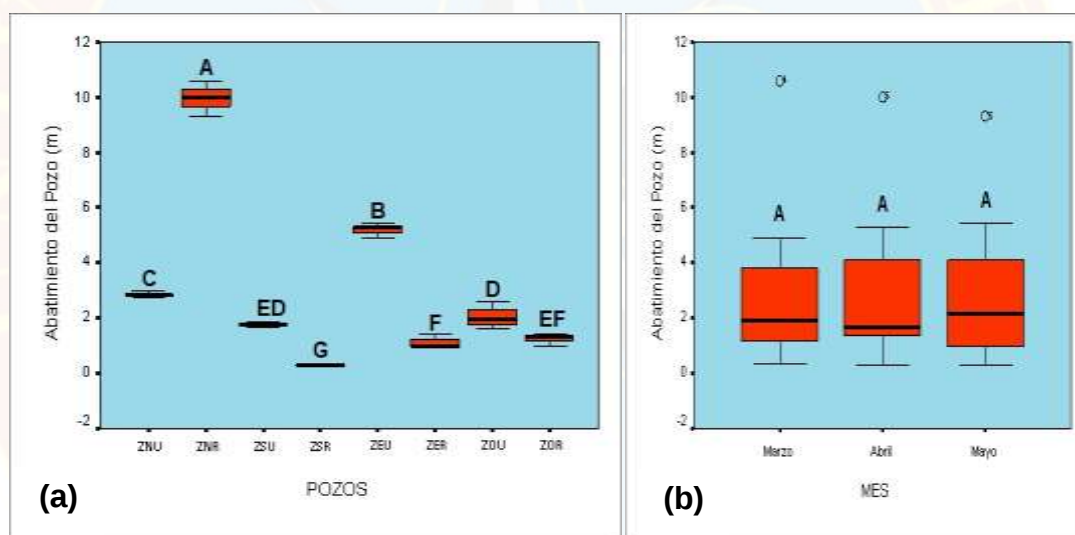
Gráfica 3. Variación del Nivel Dinámico en a) los pozos seleccionados y b) meses de estudio mediante cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.

Vizcaino (2017) señala que el nivel dinámico o de bombeo puede variar dependiendo de la disponibilidad de agua en los acuíferos y la potencia de la bomba usada para la captación del agua; Gómez-Niño (2020) lo atribuye a la profundidad del pozo.

Se pudo apreciar que en los pozos donde hubo mayor descenso del nivel dinámico ZOU, ZOR y ZSU pueden estar influenciados por el comportamiento de los acuíferos en ese periodo marzo-mayo 2016, debido a la alta demanda en el consumo de agua y por el efecto de la sequía a los pocos afluentes de agua superficiales.

Abatimiento

De acuerdo al análisis de varianzas y prueba del rango múltiple Duncan para el abatimiento del agua subterránea dentro de los pozos, se pudo observar (cuadro 13 y 14 del Anexo A) que existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) solo en los pozos muestreados más no en los meses de estudio. Presentando un promedio general de $3,05 \pm 3,02$ m de profundidad de desviación típica, con un máximo de 10,6 m y mínimo de 0,3 m de profundidad



Gráfica 4. Variación del Abatimiento o nivel de bombeo en a) pozos seleccionados y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.

Para los valores de abatimiento en los pozos con las cajas de ploteo (Gráfica 4) demuestran la variación estacional y temporal, donde el valor máximo de abatimiento de los pozos fue de 9,96 m registrado en la zona norte rural (ZNR) del sector Plantación de Víboral y un valor mínimo de 0,30

m registrado en la zona sur rural (ZSR), del sector Guanaguaney, con similar comportamiento entre los meses de estudio.

De acuerdo a lo señalado por Gómez-Niños (2020), la profundidad del pozo puede influir en que el abatimiento en el pozo ZNR fuese tan pronunciado, debido a que su nivel estático está somero y el nivel de bombeo tiende a descender por la presión piezométrica dentro del pozo por la profundidad del mismo.

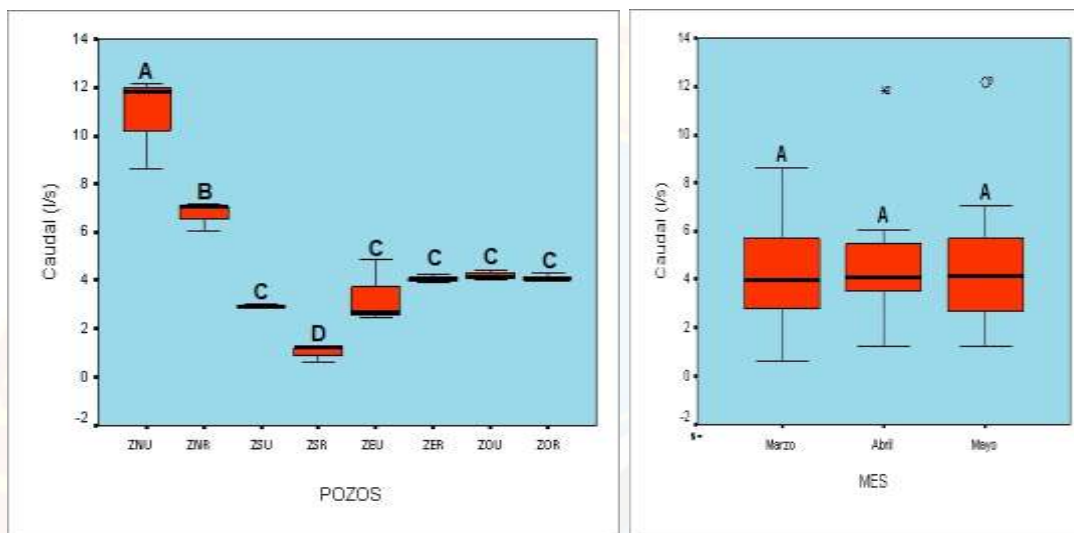
Caudal

El caudal que emite un pozo es un dato importante para conocer el funcionamiento del mismo, desde allí se obtiene la cantidad de agua que se extrae en un tiempo determinado y que puede ser utilizada para surtir los tanques de almacenamiento o distribuir a la red de aducción de cada comunidad.

El análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para el caudal (Cuadros 15 y 16 del anexo A) demuestra que existen diferencias significativas entre las estaciones de muestreo pero no en los meses de estudio ($P \leq 0.05$). Presentado un promedio general de $4,65 \pm 2,928$ L/s de desviación típica, donde en el cuadro 5 de las estadísticas descriptivas destaca un valor mínimo de 0,64 L/s y el valor máximo de 12,17 L/s.

En la Gráfica 5 (a), se observa la variación entre los pozos, presentando el mayor caudal el pozo de la urbanización Godofredo González (ZNU) con un promedio de descarga de 10,87 L/s, seguido por el ZNR con 6,73 L/s y el más bajo fue en el sector Guanaguaney (ZSR) con una descarga de 1,02 L/s.

En la gráfica 5(b) a pesar de verse el comportamiento muy similar, se notó que en el mes de abril se manejó la mayor descarga promedio de 4,88 L/s.



Gráfica 5. Valores de la variación del caudal en a) pozos seleccionados y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.

De acuerdo a los resultados del comportamiento del caudal entre los pozos, se pudo notar que los pozos de la zona norte presentaron comportamiento totalmente diferente a los otros pozos (zona oeste, este y sur) que entre sí fueron bastante similar. Esto se puede atribuir a la influencia de recarga por el Rio Guarapiche y morichales que están en su cercanía y también a la profundidad de los pozos (>100 m) que hacen que recarguen a mayor velocidad y disponga del volumen de agua necesaria al momento de bombear los mismos.

Solórzano (2016), reportó en los municipios Bolívar y Púnceres del estado Monagas, valores de caudal por el orden de 1,90 L/s a 3,30 L/s., encontrándose los mayores caudales en los pozos del municipio Bolívar con

un promedio de 3,13 L/s. Similar comportamiento que los pozos de las zonas oeste, este y sur de esta investigación, que a pesar de encontrarse en la ciudad capital del estado Monagas la descarga es baja.

Sin embargo, el MINAMB (2008) registró valores entre 8 L/s hasta 22 L/s en pozos cercanos a los del estudio, en años anteriores, superando los valores obtenidos por esta investigación. Por lo que Vizcaino (2017) refiere estas bajas descarga o caudal a una alta presencia de pozos debido a la cantidad de nuevos urbanismos con múltiples pozos y similar componente hidráulico, para las zonas rurales y urbanas de la ciudad de Maturín.

Quintana (2020) atribuye el descenso del agua en parte a la sobre explotación del acuífero, desequilibrio del sistema acuífero y por interferencias ocasionado por otros pozos de bombeo, resultando muchas veces en un menor caudal.

DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS BACTERIOLOGICOS DE LOS POZOS

Las condiciones bacteriológicas del agua es fundamental conocerla desde el punto de vista sanitario. Es así, en el cuadro 6 y 7, se expone de manera cuantitativa la presencia y/o ausencia de coliformes totales y fecales en el agua de los pozos seleccionados, describiendo estadísticamente los resultados obtenidos.

En los análisis realizados se observan valores positivos para coliformes totales y fecales, en el 75% de las estaciones bajo muestreo. Entre ellos, el 37,5% de los análisis realizados, correspondió a pruebas presuntivas para

coliformes totales y un 33,3% con pruebas confirmativa para coliformes fecales.

Cuadro 6. Coliformes totales y fecales obtenidos de los análisis bacteriológicos en los pozos de las zonas periurbana de la ciudad de Maturín durante el periodo marzo- mayo 2016.

ESTACIÓN	PERIODO (MES)	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ML)	COLIFORMES FECALES (NMP/100ML)
ZNU	Marzo	0	0
	Abril	4300	4300
	Mayo	900	400
ZNR	Marzo	0	0
	Abril	400	400
	Mayo	2300	400
ZSU	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Mayo	2300	0
ZSR	Marzo	900	900
	Abril	0	0
	Mayo	1500	900
ZEU	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Mayo	2300	2300
ZER	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Mayo	1500	1500
ZOU	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Mayo	0	0
ZOR	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Mayo	0	0

Cuadro 7. Estadísticas descriptivas de los parámetros bacteriológicos de agua de pozos seleccionados en zonas periurbana de la ciudad de Maturín

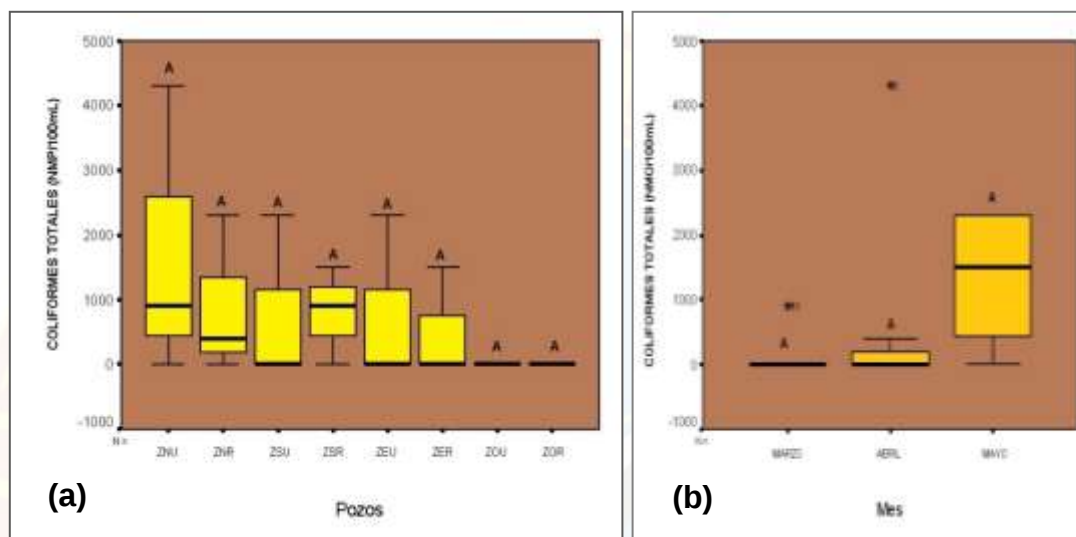
PARAMETROS	CT (NMP/100ml)	CF(NMP/100ml)
N	24	24
Media	683,3333	462,5
Mediana	0	0
Mediana agrupada	225	168,4211
Error típico de la media	230,91396	204,1075
Suma	16400	11100
Mínimo	0	0
Máximo	4300	4300
Rango	4300	4300
Desviación típica.	1131,24274	999,91847
Varianza	1279710,145	999836,957
Curtosis	3,315	9,569

Coliformes totales

El análisis de varianza y pruebas del rango múltiple de Duncan para coliformes totales (Cuadro 18 y 19 del Anexo B), demuestra que no existen diferencias significativas entre los pozos y los meses de estudio. La media general de este parámetro en la estadística descriptiva (cuadro 7), es de 683,33 NMP/100mL, una desviación típica de 1131,24 NMP/100mL, un valor máximo de 4300 NMP/100mL y mínimo de 0

En la Grafica 6 (a) y (b), se observa los valores de Coliformes totales en los pozos estudiado, visualizando la variación entre cada pozo y el tiempo de estudio, notándose que el pozo con el mayor promedio de concentración fue ZNU de 1733,3 NMP/100mL, seguido por los pozos ubicados en la zona norte rural, zona sur y zona este con valores entre 900 a 500 NMP/100mL; los pozos de la zona oeste no presentaron evidencia de microorganismo.

Ahora, la mayor manifestación de estos microorganismos fue en el mes de mayo, cuando comenzó la temporada de lluvia (Ver Figura 15 del Anexo C).



Gráfica 6. Valores de la variación del coliformes totales en a) pozos y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan.

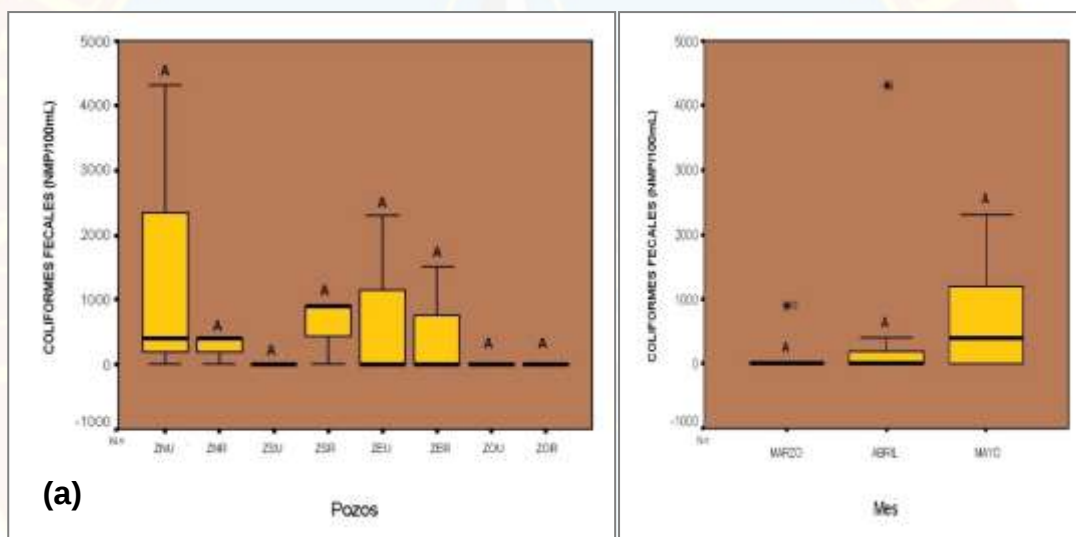
Coliformes fecales

Igualmente, el análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para los coliformes fecales (Cuadros 20 y 21 del anexo B) demuestra que no existen diferencias significativas entre los pozos ni los meses de estudio ($P \leq 0.05$). Siendo los valores promedio general de 462,5NMP/100mL, donde en el cuadro 7 de las estadísticas descriptivas destaca un valor mínimo de 0,00NMP/100mL y el valor máximo de 4300NMP/100mL.

En la Gráfica 7 (a), se observa la variación entre los pozos, presentando la mayor concentración de coliformes fecales en el pozo de la urbanización Godofredo González (ZNU) con un promedio de 1566,7 NMP/100mL, seguido por el sector Los Tapiales (ZEU) con 766,7 NMP/100mL y en menor

concentración en el sector Guanaguaney (ZSR), en la escuela Técnica Agropecuaria (ZER) y la población de Plantación (ZNR); en cuanto a los pozos de las zonas oeste y sur urbano (ZOU y ZSU) no presentaron estos microorganismos.

En la gráfica 7(b) a pesar de verse el comportamiento muy similar, se notó que en el mes de mayo se produjo la mayor presencia de coliformes fecales en las localidades afectada.



Gráfica 7. Valores de la variación del coliformes fecales en a) pozos y b) meses de estudio, en cajas de ploteo con agrupamiento de la prueba del rango múltiple de Duncan

De acuerdo con Iriarte y Marín (2005), la alteración de la calidad natural de las aguas subterráneas es muy frecuente, y la misma puede variar a través del tiempo, debido a procesos hidrológicos y patrones de uso.

Cabrera *et al* (1997) refiere que el número más probable de coliformes fecales fluctuó con valores bajos en los meses de octubre a febrero y los

mayores valores se tuvieron en los meses de marzo a mayo. Similar situación se observó en esta investigación para los meses de estudio marzo – mayo.

ANALISIS DE LOS PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS. DE AGUAS DE LOS POZOS SEGÚN DECRETO N° 883 Y LAS NORMAS SANITARIAS.

Todas las normativas para aguas potables indican que el NMP del grupo Coliformes fecales debe ser cero, pues es el contaminante del agua que causa la mayor cantidad de enfermedades en el ser humano.

Para el análisis de calidad de agua, el agua de los pozos seleccionado son utilizadas como aguas de Tipo-1 (por ser destinadas al uso doméstico e industrial para el consumo humano) y SubTipo-2A (debido a que son aguas utilizadas para el riego de vegetales destinados al consumo humano) tomando como referencia la clasificación establecida por el Decreto N° 883 (1995),

Cuadro 8. Valores límites permisibles en normativas ambientales y sanitarias para la calidad del agua de consumo humano.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS	UNIDAD	DECRETO 883 *		NORMA SANITARIA *
		Tipo-1	SubTipo-2A	
Coliformes Totales	NMP/100ml	<2000	<1000	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	-	<100	0

*Normativas Venezolanas: Decreto 883 (1995) y Normas Sanitaria de calidad de agua potable (1998)

Sin embargo en el cuadro 8 se establece los límites permisibles para coliformes totales y fecales en aguas para consumo, los resultados obtenidos refiere que algunos pozos superaron el límite mínimo permisible. Se pudo comprobar que el pozo ZNU, ubicado en la urbanización Godofredo González, presento la mayor concentración de bacterias durante el estudio. La prueba confirmativa para coliformes fecales en esta zona, resultó positiva con valores máximos de 4300 NMP/100mL en el mes de abril, disminuyendo a 400 NMP/100mL en el siguiente mes. Los valores obtenidos, infringen con los mínimos de permisibilidad establecidos en el Decreto 883 y las Normas Sanitarias de calidad de agua potable.

Solo los pozos de la zona Oeste (ZOU y ZOR) no evidenciaron estos coliformes totales ni fecales siendo los únicos pozos del estudio con características microbiológicamente apta para consumo humano igual que el pozo ZSU que solo presento coliformes totales mas no fecales.

Quintero y Herrera (2009) realizaron un estudio similar en la región colombiana y las muestras de aguas subterráneas presentaron contaminación microbiológica, principalmente por Coliformes totales y Coliformes fecales, considerándose no aptas para el consumo humano, debido a que la población de estas zonas utiliza en un 85% para consumo.

Vizcaino (2017) atribuye los coliformes totales y fecales por la presencia en los sectores de pozos sépticos, que en temporada de lluvias se infiltran los patógenos por desbordamiento de los mismos y también por los drenajes de agua residuales sin mantenimiento alguno, incluso de las plantas de tratamientos de aguas residuales inoperativa..

CONCLUSIONES

- Se presenta variabilidad en la profundidad de los pozos seleccionados, entre 80 a 120 m, con tuberías de succión de 2 a 4 pulgadas y el uso de bombas de 10 a 20 Hp; a excepción del pozo en la zona sur rural (ZSR), caracterizado como un aljibe, con una profundidad de 12 m, una bomba centrífuga de 5,5 Hp y destinado solo para riego y uso doméstico particular. Del mismo modo, se comprobó que el área de los pozos está cercada, aunque algunos tanques de almacenamiento permanecen inactivos por deficiencia en el mantenimiento.
- La evaluación del nivel estático y nivel dinámico de los pozos, demostraron que para ambas variables los valores más someros (6,10 m y 6,41 m) corresponden al pozo de la zona sur rural (ZSR) ubicado en el “Complejo Campesino Cruz Hernández Quijada” y los más profundos (38,25 m y 40,30 m) al pozo de la zona oeste urbana (ZOU) localizado en el Conjunto Residencial “Juana la Avanzadora”.
- Por su parte, el abatimiento demostró tener un nivel máximo de 10,6 m, en el pozo de zona norte rural (ZNR) sector Plantación de Viboral, en el cual se reportó mayor profundidad (120 m), y con nivel estático muy superficial (7,40 m), a diferencia del pozo ubicado en la zona sur rural (ZSR), que a pesar de presentar un nivel estático aproximado (5,92 m), poseía una profundidad baja (12 m) con respecto al primero.
- En cuanto a la determinación del caudal, se obtuvieron valores mayores en los pozos de la zona norte, los cuales corresponden a la Urbanización Godofredo González (ZNU) y el sector Plantación de Viboral (ZNR), con valores de 10,87 L/s y 6,73 L/s, respectivamente; probablemente por presentar mayores profundidades y estar influenciados por afluentes como el Río Guarapiche y Morichales, que

permite mayor disponibilidad de recarga y velocidad al momento del bombeo.

- La variabilidad de los parámetros hidráulicos se manifestó mayormente entre las estaciones bajo estudio, con muy poco aumento de estos niveles durante los meses de muestreo. Esto puede estar relacionado a factores ambientales, ya que el tiempo de muestreo coincidió con el periodo de sequía (marzo-abril); y a factores humanos, con la sobreexplotación resultante de la alta demanda de agua en dichas zonas; influyendo negativamente en la recarga de los pozos
- Con respecto a los parámetros bacteriológicos, se detectaron mayores niveles de concentración de coliformes totales y fecales con valores de 538 NMP/100 mL, para ambas variables durante el mes de abril. Siendo la que presento mayor concentración de coliformes totales (1733,3 NMP/100 mL), y coliformes fecales (1566,7 NMP/100 mL), posiblemente esta alteración esté relacionada con la cercanía al pozo de la planta de tratamiento de aguas residuales del urbanismo, donde se pudo evidenciar fisuras y desbordes de materia fecal, en sus alrededores. Estos valores quebrantan los límites permisibilidad establecidos en el Decreto 883 y las Normas Sanitarias de calidad de agua potable, por lo que no se consideran aptas para uso industrial, doméstico, riego de vegetales destinados al consumo humano, ya que pueden ser un riesgo para la salud.
- Por otra parte, solo los pozos de la zona sur urbana (ZSU), situado en la Urbanización Lomas del Viento y de la zona oeste (ZOU y ZOR), que corresponden al Conjunto Residencial “Juana la Avanzadora” y el sector San Vicente, no presentaron alteraciones bacteriológicas, por lo que pueden ser excluidas de las limitantes establecidas por el decreto 883 y las Normas Sanitarias de calidad de agua potable.

RECOMENDACIONES

- Es importante retomar el mantenimiento de los pozos de las distintas zonas evaluadas y la activación de los tanques de almacenamiento de agua, ya que esto pudiera favorecer la capacidad de recarga de los pozos durante las épocas de sequía y serviría a mantener la distribución constante de este recurso a las comunidades.
- Sensibilizar a la población sobre los efectos negativos que produce la sobreexplotación de los acuíferos, pues algunos pozos sufren cambios en los niveles de agua durante los diferentes períodos del año, como la sequía, por ejemplo; y estos pueden tardar mucho tiempo en volver a recargarse, lo que puede acortar significativamente su vida útil.
- Se recomienda realizar una evaluación periódica de los diferentes parámetros hidráulicos y bacteriológicos, en los diferentes pozos de la ciudad, incorporando otras zonas aparte de las evaluadas en este estudio, los cuales permitan crear una base de datos más amplia, que pueda contribuir a estudios futuros, ya que actualmente la información referente a los parámetros evaluados en este trabajo es exigua y su acceso es muy limitado.
- Hacer un llamado a los organismos públicos y de competencia ambiental, para evaluar y tomar acciones correctivas en la planta de tratamiento de la urbanización Godofredo González, debido a que se considera que el desbordamiento de estas aguas pudiera estar contaminando los pozos de la zona y los afluentes cercanos, como el río Guarapiche. Así como también, realizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales provenientes de urbanismos de la zona norte, para evitar la contaminación de ríos y morichales.

- Se debe evitar la perforación de pozos en zonas donde existan afluentes superficiales altamente contaminados y donde se evidencie o sospeche la presencia de pozos sépticos, puesto que estos pueden influir en la calidad bacteriológica del agua en el pozo.
- En caso de utilizarse estas aguas para fines agrícolas, en las zonas donde se evidencio mayor presencia de coliformes totales y fecales, se recomienda el uso de sistemas de riego por goteo para cultivos, localizando la mínima exposición del cultivo a estos microorganismos. De igual manera, el agua para consumo doméstico debe ser tratada previamente, para evitar daños a la salud pública.
- Se sugiere realizar las repeticiones necesarias en trabajos posteriores a este estudio, con un lapso mayor a tres meses continuos, para poder evaluar con mayor precisión la variabilidad de los resultados en el tiempo y la influencia de los periodos estacionales, en los distintos parámetros evaluados.

REFERENCIAS

- AURAZO, M. (2009). Aspectos biológicos de la calidad del agua, capítulo 2. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/dos.pdf>. [Consultado el 16-05-2018].
- BACCARO, K.; DEGORGUE, M.; LUCCA, M.; PICONE, L.; ZAMUNER, E.; ANDREOLI, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de mar de plata. [Documento en línea]. INTA, Argentina. Disponible en: <http://biblioteca.org.ar/libros/210571.pdf>. [Consultado el 29-10-2018].
- CABRERA, A., PACHECO, J., CORONADO, V., (1997). *Presencia de organismos coliformes fecales en el agua subterránea de una granja porcícola en el estado de Yucatán*. [Documento en línea]. Universidad Autónoma de Yucatán. México. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico11/as-13.pdf>. [Consultado 25-10-2018]
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (1999). Gaceta Oficial de la República, N° 36.860. 30 de diciembre, 1999 [Extraordinaria], Marzo 24, 2000.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA - CNA (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Editado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México, D.F. Págs. 35-40. Disponible en: http://consultas.alianzaporelagua.org/img/foros/527ba_02f42e4e/Pruebas_de_Bombeo.pdf. [Consultado el 23-06-2015]
- COVENIN 1126:1989. Preparación de medios de cultivo para estudio microbiológico. 1ra revisión. Fondonorma. Caracas, Venezuela. pp 11.
- COVENIN 3047:1993. Agua potable. Método de determinación del número más probable de bacterias coliformes. Fondonorma. Caracas, Venezuela. Pag 7.
- COVENIN 2614:1994. Agua potable. Toma de muestra. Fondonorma. Caracas. Venezuela. Pag 11.

COVENIN 1104:1996 Determinación del número más probable de coliformes, coliformes fecales y de *Escherichia coli*. (2da revisión) [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1104-96.pdf>. [Consultado el 29-06-2015].

COVENIN 2709:2002. Agua potable. Toma de muestra (1era revisión). Fondonorma. Caracas, Venezuela. Pag 2.

COVENIN 2634:2002 Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo. (1era revisión). Fondonorma. Caracas, Venezuela. Pag 3.

DE FREITAS, F. Y CORONEL, A. (2012). Caracterización Hidrogeoquímica de las aguas Subterráneas del acuífero Mesa–Las Piedras, Venezuela. Revista Latino Americana de Hidrogeología V.8, N.1, pp.9-19. México

DE LA LANZA, G., CÁCERES, C., ADAME, S., HERNÁNDEZ, C. (1999). Diccionario de hidrología y ciencias afines. Editores Plaza y Valdés. Pag198.

DECRETO N° 883 del 11 de octubre de 1995 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°. 5.021 Extraordinarios del 18 de diciembre de 1995”.

DONADO, L. (1999). Hidráulica de pozos. [Documento en línea]. Disponible en http://www.h2ogeo.upc.es/ldonado/publications/donado_1999b.pdf. [Consultado el: 12-05-2015].

DURÀN, L. (2011). Las políticas hídricas en Venezuela en la gestión del agua subterránea. [Documento en línea]. Revista Voces: Tecnología y pensamiento. Volumen 5, N° 1-2. Mérida, Venezuela. Disponible en: <http://revistavoces.org.ve/docu/voces5-art6.pdf>. [Consultado el 12-5-2017].

FAO. (s/f). Alimentos para las ciudades: Uso y reutilización del agua en la agricultura urbana. [Documento en línea]. Disponible en: www.fao.org/landandwater/aglw. [Consultado el 15-06-2018]

FUTURO SOSTENIBLE, 2021 Términos de referencia para la realización de pruebas hidráulicas en las captaciones de agua subterránea en la jurisdicción del área metropolitana del valle de Aburrá. Subdirección Ambiental de Área Metropolitana del Valle de

Aburrá https://www.metro-pol.gov.co/ambiental/recurso-hidrico/Documents/TR_Pruebas%20Bombeo%20AMVA_VERSI%C3%93N%20FINAL%20V2.pdf

- GARCÍA, V. (2003). Ubicación, diseño, construcción, mantenimiento y operación de pozos de agua subterránea caso de estudio: Cervecería Polar Los Cortijos C.A. [Documento en línea]. Trabajo especial de grado para optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Disponible en: http://saber.ucv.ve//TESISII_POZOS-2003.pdf. [Consultado 23-06-2015]
- GESCHE E, VALLEJOS, A, SÁEZ, M. (2003). La Eficiencia de Anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua. Método de Número Más Probable (NMP). Instituto de Medicina Preventiva Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- GIL MARÍN, J., 2020. Modelo de calidad del agua subterránea mediante el uso combinado del análisis de componentes principales (ACP) y regresiones lineales múltiples (RLM) Caso de estudio: acuíferos de Maturín, Monagas, Venezuela. INNOTEC, núm. 20, pp. 67-88. <https://www.redalyc.org/journal/6061/606163454004/html/>
- GÓMEZ-NIÑO, H.I. (2020). Análisis de niveles piezométricos y patrones de captación de agua subterránea en el acuífero cuaternario de Yopal, Casanare, Colombia. Boletín de Geología, 42(2), 89-103. doi: 10.18273/revbol.v42n2-2020005
- GOOGLE EARTH (2017). Sectores urbanísticos y rurales con los posibles pozos a muestrear de la ciudad de Maturín. Imagen 2017 Digital Globe.
- GUEVARA, A., (1996) Control de calidad del agua: métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua [Documento en línea]. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org.pdf>. [Consultado el 15-06-2016]
- GUZMÁN, D. Y PEREIRA, K. (2009) Estudio de gestión de las aguas subterráneas en Venezuela, caso especial: acuífero de la Mesa de Guanipa. Trabajo especial de grado Barcelona, Venezuela. [Documento en línea] Disponible en: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1014/1/Acu%C3%ADfero%20de%20la%20Mesa%20de%20Guanipa.pdf>. [Consultado el 12-05-2015]

- IRIARTE, M. Y MARÍN, M., (2005). Aspectos microbiológicos y físico-químicos de los pozos de agua de la isla de Margarita. [Documento en línea]. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Isla de Margarita, Venezuela. Disponible en: <http://www.fundacionlasalle.org.ve/userfiles/13Memoria163%20119-131.pdf>. [Consultado el 12-05-2015]
- LEY DE AGUAS (2007). Gaceta oficial 38.595, de fecha 02 de enero de 2007. Disponible: <http://www.vitalis.net/ley%20de%20aguas.html>. [Consulta: 24-06-2015]
- LÓPEZ, J., MORENO, L., NAVARRETE, P., (1997). Guía operativa para la recogida, almacenamiento y transporte de muestras de aguas subterráneas destinadas al análisis químico y bacteriológico. [Documento en línea]. Instituto tecnológico Geológico y minero de España. Madrid, España. Pag 7. Disponible en: <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro30/lib30.htm>. [consultado el 29-05-2018]
- LÓPEZ, J., FORNÉS, J., GONZÁLEZ, G., VILLARROYA, F (2009). Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo. [Documento en línea]. 4ª ed.-: Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España. Pag 14. Disponible en: https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/FORMACION/educacion%20ambiental.pdf [consultado el 16-12-2017].
- MARTÍNEZ, P. (2012). Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche. Trabajo especial de grado. Universidad De Oriente. Escuela de Agronomía. Monagas, Venezuela.
- MARTÍNEZ, M; HERNÁNDEZ, M; SILVA A, C; LOZANO, F, (2011) *Aplicación del SIG en el Inventario de puntos de aguas subterráneas, estados Anzoátegui y Monagas, Venezuela*. Departamento Geociencias, Fundación Laboratorio Nacional de Hidráulica, Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, El Llanito-Caracas, Venezuela
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2008). *Taller Inventario de Pozos en estado Monagas*. Material electrónico sin publicación
- MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA. (2001). Mapa del Plan de Ordenamiento Urbanístico de la ciudad de Maturín.

- MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL (MSAS) (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial N°36.395. República de Venezuela.
- OMS- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (2008). Guías para la Calidad del Agua Potable: Recomendaciones. [Documento en línea]. Volumen 1. Ginebra (Informe Técnico sin número). Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/.
- ORDOÑEZ, J. (2011) Cartilla técnica: Aguas subterráneas-acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima. Primera edición. Lima, Perú. Pp 10. [Documento en línea]. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneeas.pdf
- PEÑA ZERPA, M., 2021. Las aguas de pozos subterráneos. Entre la necesidad y el impacto ambiental. <https://www.iagua.es/blogs/mixzaida-pena-zerpa/aguas-pozos-subterraneos-necesidades-comunidades-y-impacto-ambiental>
- QUINTANA, F., (2020). Evaluación, mantenimiento y rehabilitación de pozos tubulares profundos en los acuíferos de Chillón y Rímac. Trabajo suficiencia profesional [Documento en línea]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima –Peru.
- QUINTERO, D. Y HERRERA, I. (2009) Microbiología de aguas subterráneas en la región sur del municipio Valledupar-Cesar. Trabajo especial de grado. [Documento en línea] Universidad Popular del Cesar. Facultad Ciencias de la Salud. Valledupar, Colombia. Disponible en: <http://www.corpocesar.gov.co/files/MICROB%20SUR%20VUP.pdf>. [Consultado:30- 04-2018].
- RECKMAN A, O. (2009). *Pozos de captación de aguas subterráneas*[en línea]. San Fernando: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 190. Capítulo 1. Pág. 13-50 <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7272/NR36472.pdf?sequence=7&isAllowed=y> [Consultado el 10-06-2022]
- SÁNCHEZ, A. (1984). Calidad de aguas subterráneas en el área Maturín-Aguasay, Estado Monagas. División de información e investigación del ambiente, Sección de Hidrología- Zona 12. Maturín, Venezuela.

UNESCO (2011). Asamblea general de las Naciones Unidas adopta resolución sobre la Ley de Acuíferos transfronterizos. Disponible en: http://www.unesco.org/water/news/acuiferos_transfronterizos.shtml. [Consultado el 12-04-2016].

SOLÓRZANOS., (2016) “Hidráulica y calidad de las aguas subterráneas en los municipios Bolívar y Púnceres del estado Monagas, con fines de consumo humano” Trabajo especial de grado. Universidad De Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Monagas, Venezuela

VARAS, E. (2003). Contaminación de las aguas para riego. [Documento en línea]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Raihuén, Chile. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR31557.pdf> [Consultado el 15-06-2015].

VÉLEZ, M., OTÁLVARO, D., NAVARRO, L., (2014). Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos. [Documento en línea]. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C. Colombia. Pag 18. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Manejo_de_acuiferos/GU%C3%8DA_FORMULACI%C3%93N_PLANES_ACU%C3%8DFEROS.pdf. [Consultado el 19-05-2015].

VELIZ B. C. (2019). Evaluación del índice de calidad del agua (ICA) en fuentes subterráneas de la ciudad de Maturín estado Monagas, Venezuela (año 2016)”Trabajo especial de grado. Universidad De Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Monagas, Venezuela.

VIZCAÍNO, C. 2017. Estudios físicos, químicos, biológicos e hidráulicos de las aguas subterráneas en Maturín, Estado Monagas. Venezuela. Marzo –Mayo 2016. Tesis de Maestría. Universidad de Margarita. Nueva Esparta (Venezuela).



ANEXOS

ANEXO A

PARAMETROS HIDRÁULICO

Cuadro 9. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para Nivel Estático de pozos seleccionados en las zonas periurbanas de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Estaciones	7	3007.722462	429.674637	1456.85	<.0001
Error Exp	16	4.718933	0.294933		
Total	23	3012.441396			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	NE Media
		0.998434	2.785668	0.543078	19.49542
Agrupamiento	Media	N	Pozo		
A	38.2500	3	ZOU		
B	30.9333	3	ZOR		
C	29.0667	3	ZSU		
D	19.7333	3	ZEU		
E	13.0933	3	ZER		
F	10.7800	3	ZNU		
G	8.0000	3	ZNR		
H	6.1067	3	ZSR		

Cuadro 10. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para Nivel Estático en los meses estudiados en las zonas periurbanas de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Mes	2	0.202133	0.101067	0.00	0.9993
Error Exp	21	3012.239263	143.439965		
Total	23	3012.441396			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	NE Media
		0.000067	61.43312	11.97664	19.49542
Agrupamiento	Media	N	Mes		
A	19,619	8	Marzo		
	A19.4698		Abril		
	A19.3998		Mayo		

Cuadro 11. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple Duncan para Nivel Dinámico de pozos seleccionados en las zonas periurbanas de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Estaciones	7	2735.877796	390.839685	1503.78	<.0001
Error Exp	16	4.158467	0.259904		
Total	23	2740.036263			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ND Media
		0.998482	2.260664	0.509808	22.55125
Agrupamiento	Media	N	Pozo		
A	40.3000	3	ZOU		
B	32.1667	3	ZOR		
C	30.8167	3	ZSU		
D	24.9067	3	ZEU		
E	17.9667	3	ZNR		
F	14.2133	3	ZER		
F	13.6267	3	ZNU		
G	6.4133	3	ZSR		

Cuadro 12. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para Nivel Dinámico en los meses estudiados en zonas periurbanas de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Mes	2	0.357925	0.178962	0.00	0.9986
Error Exp	21	2739.678338	130.460873		
Total	23	2740.036263			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ND Media
		0.000131	50.64884	11.42195	22.55125
Agrupamiento	Media	N	Mes		
A	22,705	8	Marzo		
A22.5438			Abril		
A22.4068			Mayo		

Cuadro 13. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Abatimiento de los pozos seleccionados en zonas periurbanas de Maturín.

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Estaciones	7	208.8928500	29.8418357	269.83	<.0001
Error Exp	16	1.7695333	0.1105958		
Total	23	210.6623833			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ABAT Media
		0.991600	10.88278	0.332560	3.055833
Agrupamiento	Media	N	Pozo		
A	9.9667	3	ZNR		
B	5.1733	3	ZEU		
C	2.8467	3	ZNU		
D	2.0500	3	ZOU		
ED	1.7500	3	ZSU		
EF	1.2333	3	ZOR		
F	1.1200	3	ZER		
G	0.3067	3	ZSR		

Cuadro 14. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Abatimiento en los meses estudiados en zonas periurbanas de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Mes	2	0.0286583	0.0143292	0.00	0.9986
Error Exp	21	210.6337250	10.0301774		
Total	23	210.6623833			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ABAT Media
		0.000136	103.6393	3.167046	3.055833
Agrupamiento	Media	N	Mes		
A	3,086	8	Marzo		
A3,0748			Abril		
A3,0088			Mayo		

Cuadro 15. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Caudal de los pozos seleccionados en las zonas periurbanas de Maturín.

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Estaciones	7	185.1742958	26.4534708	34.94	<.0001
Error Exp	16	12.1124667	0.7570292		
Total	23	197.2867625			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Q Media
		0.938605	18.68616	0.870074	4.656250
Agrupamiento	Media	N	Pozo		
A	10.8700	3	ZNU		
B	6.7333	3	ZNR		
C	4.1933	3	ZOU		
C	4.1000	3	ZOR		
C	4.0600	3	ZER		
C	3.3367	3	ZEU		
C	2.9367	3	ZSU		
D	1.0200	3	ZSR		

Cuadro 16. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para el Caudal en los meses estudiados en las zonas periurbanas de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Mes	2	1.7077750	0.8538875	0.09	0.9128
Error Exp	21	195.5789875	9.3132851		
Total	23	197.2867625			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Q Media
		0.008656	65.54132	3.051768	4.656250
Agrupamiento	Media	N	Mes		
A	4,888	8	Abril		
A	4,799	8	Mayo		
A	4,283	8	Marzo		

Cuadro 17. Base de datos de características hidráulicas de los pozos adyacentes a las estaciones de muestreo en estudio

IDEN	ZONA	SITIO	ESTE	NORTE	COTA	NIVEL	GASTO	ENTUBADO
MO5931003A	ZER	ESCUELA PERITOS PARARI	485834.05	1081441.42	46.77	22,00	17	80,00
MO5931013A	ZNR	PLANTACIONES	482941.68	1085250.95	36.60	5,90	13,00	30,00
MO5931063A	ZNR	PLANTACIONES	484465.10	1086079.51		27,00	7,00	54,60
MO5931071A	ZSU	EL RINCON	484154.85	1072873.43		3,00	17,00	55,60
MO5931078A	ZEU	URB PARQUESITO	485924.05	1077786.64		5,00	22,00	79,40
MO5932002A	ZOR	SAN VICENTE ZONA INDUSTRIAL	467182.41	1073191.63	110.43	38,25	4,00	89,00
MO5932063A	ZOU	DE MATURIN	470198.73	1072728.41	85.00	13,00	16,00	
MO5932065C	ZOU	VIA SAN JAIME	471873.22	1070792.24	80.00	3,25		
MO5932066C	ZSR	SAN JACINTO	478850.85	1069436.31		1,40		
MO5932085A	ZOR	SAN VICENTE	467244.17	1074112.94		38,70	8,00	110,00
MO5932087A	ZNU	FDO EL ZORRO	476389.09	1079941.34		21,00	15,00	85,00

Nota: Datos tomado del MINAMB (2008) Taller de inventario de pozos en el estado Monagas

ANEXO B

PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS

Cuadro 18. Análisis de varianza y Prueba del rango múltiple de Duncan para Coliformes Totales (CT) en agua de pozos seleccionados en zonas periurbana de la ciudad de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Estaciones	7	6433333.33	919047.62	0.64	0.7177
Error Exp	16	23000000.00	1437500.00		
Total	23	29433333.33			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CT Media
		0.218573	175.4573	1198.958	683.3333
Agrupamiento	Media	N	Pozo		
A	1733.3	3	ZNU		
A	900.0	3	ZNR		
A	800.0	3	ZSR		
A	766.7	3	ZSU		
A	766.7	3	ZEU		
A	500.0	3	ZER		
A	0.0	3	ZOU		
A	0.0	3	ZOR		

Cuadro 19. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para coliformes totales (CT) en los meses muestreados en los pozos de las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Mes	2	1249614.333	624807.167	0.68	0.5169
Error Exp	21	19263703.50	917319.21		
Total	23	20513317.83			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CT Media
		0.060917	291.4840	957.7678	328.5833
Agrupamiento	Media	N	Mes		
A	538,0	8	Abril		
A	436,5	8	Mayo		
A	11,3	8	Marzo		

Cuadro 20. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para Coliformes Fecales (CF) en agua de pozos seleccionados en zonas periurbana de la ciudad de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Estaciones	7	6036250.00	862321.43	0.81	0.5893
Error Exp	16	16960000.00	1060000.00		
Total	23	22996250.00			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CF Media
		0.262488	222.6082	1029.563	462.5000
Agrupamiento	Media	N	Pozo		
A	1566.7	3	ZNU		
A	766.7	3	ZEU		
A	600.0	3	ZSR		
A	500.0	3	ZER		
A	266.7	3	ZNR		
A	0.0	3	ZSU		
A	0.0	3	ZOU		
A	0.0	3	ZOR		

Cuadro 21. Análisis de varianza y prueba del rango múltiple de Duncan para coliformes fecales (CF) en los meses muestreados en los pozos de las zonas periurbanas de la ciudad de Maturín

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Mes	2	1119103.00	559551.50	0.65	0.5319
Error Exp	21	18059855.50	859993.12		
Total	23	19178958.50			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CF Media
		0.058351	355.6503	927.3581	260.7500
Agrupamiento	Media	N	Mes		
A	538,0	8	Abril		
A	233,0	8	Mayo		
A	11,3	8	Marzo		

Cuadro 22. Número Más Probables (NMP) y Límite de confianza 95%, en prueba con tubos de fermentación cuando son utilizados tres tubos con volúmenes de 0,1; 0,01; y 0,001 g^a

No. de tubos positivos /3 tubos			NMP/g ^b	Límite de Confianza 95 %	
0.1 g	0.01 g	0.001 g		Inferior	Superior
0	0	0	< 3	-	-
0	1	0	3+	<1	17
1	0	0	4	<1	21
1	0	1	7+	2	27
1	1	0	7	2	28
1	2	0	11+	4	35
2	0	0	9	2	38
2	0	1	14+	5	48
2	1	0	15	5	50
2	1	1	20+	7	60
2	2	0	21	8	62
3	0	0	23	9	130
3	0	1	39	10	180
3	1	0	43	10	210
3	1	1	75	20	280
3	2	0	93	30	380
3	2	1	150	50	500
3	2	2	210+	80	640
3	3	0	240	90	1,400
3	3	1	460	100	2,400
3	3	2	1,100	300	4,800
3	3	3	>1100	-	-

a = Los resultados normales obtenidos en el 95 % de las pruebas, no se les coloca el signo mas. Los resultados menos probables obtenidos en el 4 %, de las pruebas son seguidos por el signo mas. Las combinaciones de tubos positivos que no se muestran, ocurren en menos del 1 % de los ensayos, y la frecuencia indica que la técnica es defectuosa o la presunción fundamental en el cálculo de NMP no se está cumpliendo. El cálculo de NMP, para combinaciones que no se muestran se pueden obtener por extrapolación (o por la fórmula de Thomas) o la combinación cercana más alta que este representado en la tabla. Por ejemplo, un resultado de 2,0,2 tendría un NMP de aproximadamente 20, el cual es el NMP parecido al resultado de 2,1,1.

b = Todas las cifras bajo el título "NMP/g", pueden ser multiplicado por 100 para obtener "NMP/100g".

ANEXO C



INFORME TÉCNICO

Pozo: URB. JUANA LA AVANZADORA

MACRO PARCELA 7

NIVEL ESTÁTICO: 17,68 mts. **17,65**

1er filtro: Entre 28,96 mts. y 35,06 mts. **28,86 - 34,58**

2do filtro: Entre 41,15 mts. y 57,32 mts. **40,5 - 57,6**

3er filtro: Entre 63,42 mts. y 68,90 mts. **63,7 - 68,95**

4to filtro: Entre 74,70 mts. y 86,28 mts. **74,7 - 80,6**

PROFUNDIDAD TOTAL ESTUDIADA : 93,90 mts. **86,38**

OBSERVACIONES:

- El casing se observa sin rotura ni fisura
- Los filtros están ubicados según el diagrama.

ING. JOSE A. HERNANDEZ
VARELCA C.A.
 Calle 14 No. 14-100, Caracas, Venezuela
 Tel: 0212-9811000. Fax: 0212-9811001
 RIF: J-08036273-0

MATURIN 03/05/2017

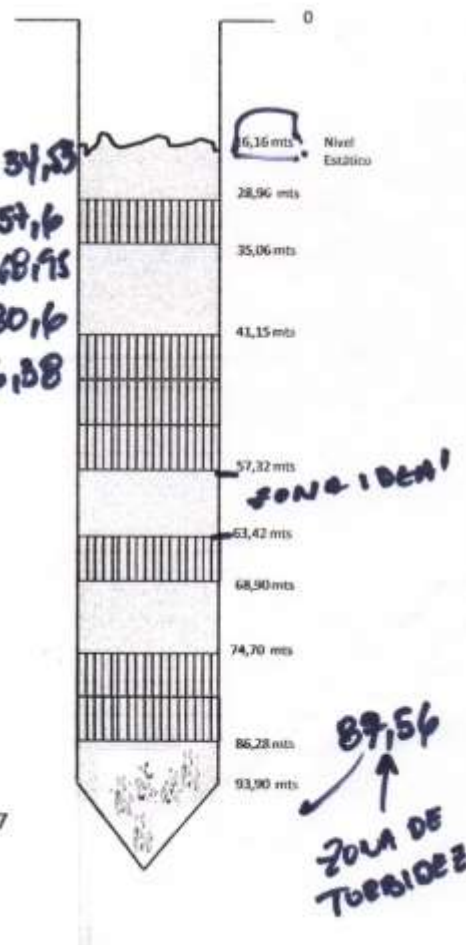


Figura 14. Informe técnico de uno de los pozos del conjunto residencial Juana La Avanzadora (ZOU) año 2017



Figura 15 Climograma del estado Monagas. Periodo 1986 - 2015. (Fuente: INAMEH)

Cuadro 23. Tabla climática de datos históricos del tiempo en Maturín. Data: 1991 - 2021 Temperatura min. (°C), Temperatura máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad, Días lluviosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol.

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Temperatura media (°C)	24.6	25.2	26.2	27	26.8	25.7	25.4	25.8	26.4	26.3	25.6	24.8
Temperatura min. (°C)	21.9	22	22.7	23.5	23.6	23.1	22.8	23	23.3	23.4	23.1	22.4
Temperatura máx. (°C)	28.8	29.9	31.5	32.4	31.7	29.8	29.5	30.3	31.2	31	29.8	28.6
Precipitación (mm)	50	38	38	51	96	147	139	128	104	96	104	78
Humedad (%)	80%	74%	70%	70%	75%	83%	85%	84%	82%	82%	84%	84%
Días lluviosos (días)	13	10	9	9	15	19	20	19	16	16	17	15
Horas de sol (horas)	6.7	6.9	7.2	7.6	7.4	6.7	6.9	7.4	7.8	7.5	6.9	6.5

(Fuente: es.climateData.org).

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	Características hidráulicas y bacteriológicas del agua subterránea en diferentes zonas periurbanas de la ciudad de Maturín, estado Monagas.
---------------	--

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor (es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Rodríguez Campos Geilyn Milagros	CVLAC	C.I: 19.416.521
	e-mail	geilynmrc@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor está registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el número de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

calidad bacteriológica
caudal
nivel estático.
nivel dinámico
tesis de trabajo de grado

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-Área
Técnica (Ciencias Aplicadas)	Ingeniería Agronómica

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos una subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

En la ciudad de Maturín es frecuente la extracción de agua subterránea, para complementar la demanda destinada al consumo humano y las actividades agrícolas, sin tener control volumétrico por uso de múltiples pozos que genera un déficit del recurso en los acuíferos durante el periodo de sequía y alteran la calidad del agua durante el periodo de lluvia. Son estos elementos trascendentales en esta investigación al evaluar las características hidráulicas y bacteriológicas del agua extraída de ocho pozos ubicados en sectores urbanos y rurales de la ciudad de Maturín, Estado Monagas, durante el periodo marzo - mayo del año 2016. Los resultados de las variables microbiológicas fueron analizados con las normativas sanitarias para agua potable y uso agrícola (COVENIN 2634:2002, MSAS (1998), OMS (2006) y Decreto N° 883). Encontrándose la mayor concentración de Coliformes totales y fecales en el pozo ZNU (1566,7 NMP/100mL), seguido progresivamente por los pozos ZEU (766,7 NMP/100mL), ZSR (600 NMP/100mL), ZER (500 NMP/100mL) y ZNR (266,7 NMP/100mL), lo que indica una afectación bacteriológica del agua de esas fuentes. Igualmente se registró un comportamiento del flujo y niveles hidráulicos, observándose un descenso en el nivel estático de los pozos de la zona Oeste y Sur urbana, así también en el nivel de bombeo o dinámico. Se tomó en cuenta la carga dinámica y disponibilidad de agua en los acuíferos durante la época de sequía cuando más requieren de este recurso. Los mayores abatimientos fueron en los pozos ZNU, ZNR y ZEU, por tener el nivel estático más superficial y potencia del sistema de bombeo. El mejor caudal lo emitió el pozo ZNU seguido por los pozos de las zonas con desarrollo urbanístico, quienes requieren más del agua. Esto permitirá proyectar la protección de las reservas hídricas y la prevención de contaminación que causen enfermedades a la población.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail		
Vizcaíno G. Celeidys D.	ROL	CA ☐ AS ☒ TU ☐ JU ☐	
	CVLAC	C.I: 8.373.371	
	e-mail	imaza.udomonagas@gmail.com	
Rivas-Nichorzon Magalys C.	ROL	CA ☒ AS ☐ TU ☐ JU ☐	
	CVLAC	C.I: 10.831.480	
	e-mail	magalysrivas@gmail.com	
Maza Iván J.	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒	
	CVLAC	C.I: 8.373.371	
	e-mail	imaza.udomonagas@gmail.com	
Millán A. Freddy G.	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒	
	CVLAC	C.I: 5.314.120	
	e-mail	fmillan_23@yahoo.es	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor está registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el número de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2023	03	17

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa

Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para inglés es en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOTTG_RCGM2023

Alcance:

Espacial: _____X_____ (opcional)

Temporal: _____X_____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Agrónomo.

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias Aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumand, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNFELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marujá

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.”



Br. Gellyn Milagros Rodríguez Campos

C.I.: 19.416.521

Autor



Prof. Celedys del Valle Vizcalno González. MSc.

C.I.: 8.373.371

Tutor