



UNIVERSIDAD DEL MAR
CAMPUS PUERTO ESCONDIDO

**CALIDAD HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS DEL RÍO
COLOTEPEC, OAXACA, MÉXICO; Y SU INFLUENCIA EN LOS
ECOSISTEMAS FORESTALES POR LOS QUE ATRAVIESA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL**

PRESENTA

Esteban Ulises Martínez Santos

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal

Puerto Escondido, Oaxaca 2022.

DEDICATORIA

A mi padre:

Esteban Martínez Martínez

A mi madre:

Florentina Santos Gijón

AGRADECIMIENTOS

El autor mediante este trabajo desea hacer llegar sus agradecimientos por su tiempo y esfuerzo a quienes de manera directa participaron en la elaboración de esta investigación y en el proceso de su formación académico-científica:

Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal

Y al Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar

Se agradece su participación, aportes, revisión y críticas del presente estudio, y con ello llevar a término este trabajo de investigación a:

Dr. Álvaro Can Chulim

Y a la Dr. Verónica Ortega Baranda

CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE CUADROS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. HIPÓTESIS	14
III. OBJETIVOS	14
3.1.- Objetivo general	14
3.2.- Objetivos específicos	14
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	15
4.1 El agua en México y en el mundo	15
4.1.1 El agua y el bosque (importancia hidrológica).....	17
4.1.2 El agua y su calidad.....	19
4.2 El caso particular de la cuenca Río Colotepec	21
4.3 Características Químicas que influyen en la calidad del agua	23
4.3.1 Conductividad Eléctrica (CE)	25
4.3.2. Potencial de iones hidrógeno (pH).....	27
4.3.3 Salinidad Efectiva (SE)	30
4.3.4 Salinidad Potencial (SP).....	31
4.3.5 Potencial osmótico ($\Psi\pi$).....	32
4.4 Sales hipotéticas y su solubilidad.....	34
4.4.1 Criterios de sodicidad.....	36
4.4.1.1 Relación de Adsorción de Sodio (RAS).....	36
4.4.1.2 Carbonato de Sodio Residual (CSR).....	37
4.5 Geoquímica de los elementos que participan en la composición de las aguas.....	39
4.5.1 Calcio (Ca^{2+}).....	39
4.5.2 Magnesio (Mg^{2+}).....	40

4.5.3 Sodio (Na^+).....	40
4.5.4 Potasio (K^+)	41
4.5.5 Carbonatos (CO_3^{2-}) y Bicarbonatos (HCO_3^-)	42
4.5.6 Cloruros (Cl^-).....	43
4.5.7 Sulfatos (SO_4^{2-})	44
4.5.8 Boro (B^{3+}).....	45
4.5.9 Nitratos (NO_3^-)	46
4.5.10 Fosfatos (PO_4^{3-}).....	46
4.5.11 Sílice (SiO_2).....	47
V. MATERIALES Y MÉTODOS	49
5.1 Localización del área de estudio.....	49
5.1.1 Fisiografía.....	51
5.1.2 Clima	51
5.1.3 Suelos	52
5.1.4 Hidrografía	52
5.1.5 Geomorfología	54
5.1.6 Geología	54
5.1.7 Estratigrafía	54
5.1.8 Vegetación.....	55
5.1.9 Usos del agua	56
5.2 Muestreo y análisis químico del agua	57
5.2.1 Análisis fisicoquímicos realizados	57
VI. RESULTADOS	60
6.1 Composición iónica de las aguas de la cuenca del Río Colotepec	65
6.1.1 Alto relieve.....	65
6.1.1.1 Potencial de iones hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Solidos Totales Disueltos y Potencial osmótico	66
6.1.1.2 Salinidad Efectiva, Salinidad Potencial, Relación de Adsorción de Sodio y Carbonato de Sodio Residual.....	69
6.1.2 Meso relieve	70
6.1.2.1 Potencial de iones hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Solidos Totales Disueltos y Potencial osmótico	71

6.1.2.2 Salinidad Efectiva, Salinidad Potencial, Relación de Adsorción de Sodio y Carbonato de Sodio Residual.....	75
6.1.3 Bajo relieve.....	75
6.1.3.1 Potencial de iones Hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Solidos Totales Disueltos y Potencial osmótico	76
6.1.3.2 Salinidad Efectiva, Salinidad Potencial, Relación de Adsorción de Sodio y Carbonato de Sodio Residual.....	86
6.1.4 Precisión de los análisis químicos	93
VII. DISCUSIÓN.....	96
7.1 Composición iónica de las aguas superficiales de la cuenca Río Colotepec.....	96
7.2 Parámetros físicoquímicos de las aguas del Río Colotepec	100
7.2.1 Potencial de iones hidrógeno.....	100
7.2.2 Conductividad Eléctrica	101
7.2.3 Sólidos Totales Disueltos	102
7.2.4 Potencial osmótico	102
7.2.5 Salinidad Efectiva y Salinidad Potencial.....	103
7.2.6 Relación de Adsorción de Sodio	104
7.2.7 Carbonato de Sodio Residual	105
7.2.8 Toxicidad por iones específicos	106
7.2.8.1 Contenido de Boro (B^{3+})	106
7.2.8.2 Contenido de Sílice (SiO_2).....	107
7.2.8.2 Contenido de Fosfatos (PO_4^{3-}).....	108
7.2.8.2 Contenido de Nitratos (NO_3^-).....	108
VIII. CONCLUSIONES	110
IX. BIBLIOGRAFÍA	112

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Secuencia de extracción iónica durante la meteorización.	24
Cuadro 2. Clasificación del agua de riego según su Conductividad Eléctrica.	27
Cuadro 3. Clasificación del agua según su Salinidad Efectiva.	31
Cuadro 4. Clasificación de las aguas según su Salinidad Potencial.	32
Cuadro 5. Solubilidad de los iones que forman las sales.	35
Cuadro 6. Clasificación del agua con base en el contenido de sodio.	36
Cuadro 7. Clasificación de las aguas de riego de acuerdo al contenido de CSR.	38
Cuadro 8. Composición elemental de la corteza terrestre.	48
Cuadro 9: Metodología utilizada en la determinación de parámetros físico – químicos.	58
Cuadro 10. Localización geográfica de los sitios de muestreo de la red hidrográfica de la cuenca Río Colotepec.	64
Cuadro 11. Composición iónica de las aguas del Río Colotepec en el alto relieve.	67
Cuadro 12. Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Río Colotepec en el alto relieve.	68
Cuadro 13. Composición iónica de las aguas del Río Colotepec en el meso relieve.	72
Cuadro 14. Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Río Colotepec en el meso relieve.	73
Cuadro 15. Composición iónica de las aguas del Río Colotepec en el bajo relieve.	78
Cuadro 16. Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Río Colotepec en el bajo relieve.	82
Cuadro 17. Composición iónica de las aguas de pozos noria de la cuenca Río Colotepec.	87
Cuadro 18. Parámetros fisicoquímicos de las aguas de pozos noria de la cuenca Río Colotepec.	88
Cuadro 19. Concentración de B^{+3} , SiO_2^{-4} , PO_4^{-3} , NO_3^{-} de la cuenca Río Colotepec.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo en la red hidrográfica de la cuenca Río Colotepec.....	50
Figura 3. Proyección entre la Conductividad Eléctrica y los Sólidos Totales Disueltos de las aguas del Río Colotepec en el alto relieve.	66
Figura 4. Proyección entre la Conductividad Eléctrica y los Sólidos Totales Disueltos de las aguas del Río Colotepec del meso relieve.....	74
Figura 5. Proyección entre la Conductividad Eléctrica y los Sólidos Totales Disueltos de las aguas del Río Colotepec del bajo relieve.	77
Figura 6. Grafica de electroneutralidad de las aguas de la cuenca Río Colotepec.....	94
Figura 7. Distribución de la calidad química de las aguas de la cuenca Río Colotepec.	95

CALIDAD HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS DEL RÍO COLOTEPEC, OAXACA, MÉXICO; Y SU INFLUENCIA EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES POR LOS QUE ATRAVIESA

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la composición iónica de las aguas del Río Colotepec en diferentes puntos aguas arriba- aguas abajo y conocer como interfieren los biomas forestales en su composición iónica, se llevó a cabo esta investigación en la cuenca perteneciente a la región hidrológica RH-21 (Puerto Ángel) en el estado de Oaxaca. El río Colotepec tiene su origen al noroeste de la comunidad de San José del Pacífico localizada en las coordenadas 16° 10' 5.2" N, 96° 30' 41.6" O, perteneciente al municipio de San Mateo Río Hondo. Su agua se utiliza para consumo humano e irrigación de cultivos. Además, es receptor de agua residual municipal y agrícola proveniente de asentamientos humanos > 2,500 habitantes. Por la importancia que tiene para la población, sobresale el sistema hidráulico Colotepec – Puerto Escondido. Para lograr los objetivos planteados se recolectaron cincuenta y tres muestras de agua en un decurso descendente, a las que se determinaron y analizaron los siguientes parámetros: t (°C), pH, CE, $\Psi\pi$, SE, SP, CSR, RAS, PSI, STD, así como los iones: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , B^{3+} y SiO_2 . La interpretación de los resultados mostró que el tipo de agua y su concentración iónica presenta una composición Bicarbonatada-sódica-clorurada. Se encontró dominancia de los iones bicarbonato, sodio, cloruro, magnesio y calcio. Las concentraciones de B^{3+} en el 100 % de las muestras analizadas es de 1.53 mg L⁻¹. Con base en los criterios de valoración de salinidad y sodicidad, el 77 % de las muestras no presentan restricción de uso, 17 % presentan riesgo de salinidad media, 4 % riesgo de salinidad alto y el 2 % presenta riesgo de salinidad muy alto. En general, las aguas de la cuenca Río Colotepec es adecuada para los diferentes usos, como consumo humano e irrigación agrícola.

Palabras clave: Composición iónica, salinidad, sodicidad, irrigación.

HYDROGEOCHEMICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE COLOTEPEC RIVER, OAXACA, MEXICO; AND ITS INFLUENCE ON THE FOREST ECOSYSTEMS THROUGH WHICH IT TRAVELS

ABSTRACT

In order to evaluate the ionic composition of the Waters of the Colotepec River at different points upstream-downstream and to know how forest biomes interfere with their ionic composition, this research was carried out in the basin belonging to the RH-hydrological región 21 (Puerto Angel) in the state of Oaxaca. The Colotepec river has its origin in the northwest of the community of San Jose del Pacifico located at coordinates $16^{\circ} 10' 5.2''$ N, $96^{\circ} 30' 41.6''$ W, belonging to the municipality of San Mateo Rio Hondo. Its water is used for human consumption and crop irrigation. In addition, it is a recipient of municipal and agricultural wastewater from human settlements > 2,500 inhabitants. Due to its importance for the population, the Colotepec-Puerto Escondido hydraulic system stands out. To achieve the proposed objectives, fifty-three water samples were collected in a descending course, which were determined and analyzed the following parameters: t ($^{\circ}$ C), pH, CE, $\Psi\pi$, SE, SP, CSR, RAS, PSI, STD, as well as the ions: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^{-} , B^{3+} y SiO_2 . The interpretation of the results showed that the type of water and its ionic concentration presents a Bicarbonate-sodium-chlorinated composition. Dominance of bicarbonate, sodium, chloride, magnesium and calcium ions was found. The concentrations of B^{3+} in 100 % of the analyzed samples is 1.53 mg L^{-1} . Based on the salinity and sodicity evaluation criteria, 77 % of the samples do not present a use restriction, 17 % present a medium salinity risk, 4 % a high salinity risk and 2 % present a very high salinity risk. In general, the Waters of the Colotepec river basin are suitable for different uses, such as human consumption and agricultural irrigation.

Keywords: Ionic composition, salinity, sodium, irrigation.