

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. General	1
1.1.2. Específicos	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Sitio de estudio: Salar del Huasco	2
2.2. Antecedentes: Consumo anómalo de CO ₂	3
2.3. Fotocatálisis del CO₂	4
2.3.1. Principios básicos de la fotocatálisis	4
2.3.2. CO₂ y la fotorreducción	5
2.4. Metanación catalítica del CO₂	7
2.4.1. Emisiones de metano en lagunas someras	7
2.4.2. Cinética de la reacción	8
2.5. Condiciones fotorreductoras en el Salar del Huasco	11
3. METODOLOGÍA	11
3.1. Mediciones in-situ en el Salar del Huasco	11
3.2. Modelo conceptual de la dinámica del CO₂ y O₂ en el Salar del Huasco	15
3.2.1. Modelo de CO₂ y O₂ (Hidalgo, 2017)	15
3.2.2. Forzantes del sistema	16
3.2.3. Modelo Langmuir-Hinshelwood para fotorreducción de CO₂	18
3.3. Modelo propuesto	18
3.3.1. Parámetros estándar de la Ecuación de fotorreducción	20
3.3.2. Consideraciones	21
3.4. Validación del modelo conceptual	22
3.4.1. Programación en Vensim	22
3.4.2. Validación de expresión de fotorreducción	23
4. RESULTADOS	24
4.1. Flujo de CO ₂ en escenarios: Desierto y Laguna	24
4.2. Análisis de sensibilidad	26
5. DISCUSIONES	27
5.1. Modelo de Langmuir-Hinshelwood	27
5.2. Modelación de la dinámica del CO₂ y O₂ en el Salar del Huasco incluyendo fotorreducción del CO₂	32

5.3. Intercambio entre fases agua-aire considerando la fotorreducción del CO_2	33
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	43
ANEXO A. Caracterización de suelo en el Salar del Huasco	43
ANEXO B. Modelo de CO_2 y O_2 (Hidalgo, 2017)	43
B. 1. Oxígeno disuelto	43
B. 2. Dióxido de carbono	46
B. 3. Biomasa	47
B. 4. Detritos	48
B. 5. Parámetros utilizados en el modelo	48
ANEXO C. Resultados.....	49
C.1 Validación de Modelo Langmuir Hinshelwood	49
C.2 Modelo de Langmuir-Hinshelwood según Ku et al. (2020).....	53
ANEXO D. Discusiones	54
D.1 Modelo de Langmuir-Hinshelwood	54
D.2 Modelación de la dinámica del CO_2 y O_2 en el Salar del Huasco incluyendo fotorreducción del CO_2	56
D.3 Intercambio entre fases agua-aire considerando la fotorreducción del CO_2	57

Índice de Figuras

Figura 2.1: Izquierda: Ubicación de Cuencas Altiplánicas de la I Región. Derecha: Cuenca del Salar del Huasco Fuente: Flores V., 2010	2
Figura 2.2: Mecanismo general de la fotocatalisis. Fuente: Collado, 2015.....	4
Figura 2.3: Pasos elementales de la fotorreducción de CO_2 , de acuerdo al modelo de Langmuir Hinshelwood.Adaptado de Tan et al. (2017).	9
Figura 2.4: Diagrama de energía de banda de los semiconductores seleccionados, los que se utilizan comúnmente para la división fotoelectroquímica del agua y la reducción de CO_2 . Fuente: Ulmer et al, 2019	10
Figura 3.1: Serie de tiempo para el intercambio de CO_2 entre la atmósfera y columna de agua en azul, radiación incidente en gris y velocidad de corte en rojo, para campaña 2016.	12
Figura 3.2: Serie de tiempo para oxígeno disuelto en azul , radiación incidente en gris y temperatura del agua en naranja, para campaña del 2016.	12
Figura 3.3: Ubicación de los instrumentos en la campaña de campo E-DATA. Fuente: Suarez et al., (2020)	13

Figura 3.4: Series de tiempo del intercambio de CO_2 (positivo hacia arriba) y densidad molar del H_2O , a partir de la campaña E-DATA 2018 en escenario seco (EC-Desert).	13
Figura 3.5: Series de tiempo del intercambio de CO_2 (positivo hacia arriba) y densidad molar del CO_2 , a partir de la campaña E-DATA 2018 en escenario seco (EC-Desert).	14
Figura 3.6: Series de tiempo del intercambio de CO_2 (positivo hacia arriba) y densidad molar del H_2O , a partir de la campaña E-DATA 2018 en escenario de la laguna (EC-Water).	14
Figura 3.7: Series de tiempo del intercambio de CO_2 (positivo hacia arriba) en azul y densidad molar del CO_2 en naranja, a partir de la campaña E-DATA 2018 en escenario de la laguna (EC-Water).	14
Figura 3.8: Series de tiempo del intercambio de CO_2 (positivo hacia arriba) y radiación incidente en rojo, para el escenario de la laguna, a partir de la campaña de campo E-DATA 2018.	15
Figura 3.9: Series de tiempo de la turbulencia [m/s] y el flujo de CO_2 , A) escenario de la laguna. Ambos medidos en EC-Water, en campaña E-DATA 2018. B) escenario del desierto. Datos medidos, en campaña E-DATA 2018.	17
<i>Figura 3.10: Esquema representativo de la reacción fotocatalítica de CO_2 en la capa de espesor δ en sedimentos.</i>	19
Figura 3.11: Series de tiempo para A) dióxido de carbono, B) oxígeno disuelto, C) biomasa y D) detritos, de acuerdo con el modelo de Hidalgo (2017) programado en Vensim, según la campaña del 2016.	23
Figura 4.1: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Tahir & Amin (2013) en verde, Khalilzadeh & Shariati (2018) en violeta y Tan et al. (2017) en rojo, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Desert, E-DATA 2018.	24
<i>Figura 4.2: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Tahir & Amin (2013) en verde, Khalilzadeh & Shariati (2018) en violeta y Tan et al. (2017) en rojo, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, E-DATA 2018.</i>	25
<i>Figura 5.1: Serie de tiempo del flujo de CO_2: en verde la simulación mediante modelo de L-H considerando ajuste en los parámetros, en rojo la simulación según parámetros de Tahir & Amin (2013) y en azul el flujo de medido en EC Desert, en E-DATA 2018.</i>	28
Figura 5.2: Espectro electromagnético.	30
Figura 5.3: Espectros de absorción UV-Vis, (a) diferentes fotocatalizadores dopados con Fe- y co-dopados con Fe-N, (b) diferentes fotocatalizadores dopados con N y co-dopados con Fe-N. Fuente: Khalilzadeh & Shariati, 2018.	31
Figura 5.4: Series de tiempo para el CO_2 considerando el modelo propuesto con parámetros de base en rojo, y el modelo del 2017 en azul. Las zonas sombreadas corresponden a las horas de hielo presente en la laguna.	33
Figura 5.5: Comparación en flujo de CO_2 en interfaz agua-aire. En rojo los resultados para el modelo de Hidalgo 2017, en verde para el modelo simulado actual que incluye el efecto de la fotorreducción.	34

Figura 5.6: Comparación en flujo de CO_2 en interfaz agua-aire. En azul las mediciones realizadas en terreno y en verde el flujo para el modelo propuesto que incluye el efecto de la fotorreducción, considerando $ACO_2 = 3.5$	34
Figura C. 1: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Tahir & Amin (2013) en verde, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Desert, E-DATA 2018.	50
Figura C. 2: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Tan et al. (2017) en rojo , con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Desert, E-DATA 2018..	50
Figura C. 3: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Khalilzadeh & Shariati (2018), con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Desert, E-DATA 2018.	51
Figura C. 4: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Tahir & Amin (2013) en verde, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, E-DATA 2018.	51
Figura C. 5: Series de tiempo del flujo de $\{CO\}_2$ simulado con parámetros de Tan et al.(2017) en rojo , con respecto al flujo de $\{CO\}_2$ medido en EC-Water, E-DATA 2018.	52
Figura C. 6:Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado con parámetros de Khalilzadeh & Shariati (2018), con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, E-DATA 2018.	52
Figura D. 1: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado mediante modelo de L-H con $I_0 = 10 - 2[mW/cm^2]$ en rojo, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, en E-DATA 2018	54
Figura D. 2: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado mediante modelo de L-H con $I_0 = 10 - 3[mW/cm^2]$ en rojo, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, en E-DATA 2018	55
Figura D. 3: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado mediante modelo de L-H con $k = 2,5 \times 10^6[\mu mol/gcath]$ en rojo , con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, en E-DATA 2018.....	55
Figura D. 4: Series de tiempo del flujo de CO_2 simulado mediante modelo de L-H con $k = 107[\mu mol/gcath]$ en rojo, con respecto al flujo de CO_2 medido en EC-Water, en E-DATA 2018.	56
Figura D. 5: Comparación de las series de tiempo para las variables de estado del modelo propuesto en rojo, con respecto al modelo del 2017 en verde. A) dióxido de carbono disuelto, B) oxígeno disuelto, C) biomasa, y D) detritos totales. Las zonas sombreadas corresponden a las horas de hielo presente en la laguna.....	56
Figura D. 6: Comparación en flujo de CO_2 en interfaz agua-aire. En azul las mediciones realizadas en terreno, en verde el flujo para el modelo propuesto y en rojo el flujo para el cao límite en que el flujo es máximo.....	57

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Reacciones. Fuente: Hong et al. 2013.	6
Tabla 3.1: Comparación de las condiciones presentes en las investigaciones experimentales para Tan et al, (2017); Tahir & Amin (2013) y Khalilzadeh & Shariati, (2018).	20
Tabla 3.2: Parámetros obtenidos de artículos de Tan et al. (2017); Tahir & Amin (2013) y Khalilzadeh & Shariati, (2018).	20
Tabla 3.3: Profundidad de penetración de luz según Ciani et al., 2015	21
Tabla 3.4: Condiciones iniciales utilizadas en el modelo. Hidalgo, 2017.....	22
Tabla 4.1: Resultados del análisis de sensibilidad para un aumento del 50% en los procesos que componen la evolución temporal de CO_2 . SCO_2 : sensibilidad para el CO_2	26
Tabla 4.2: Resultados del análisis de sensibilidad para un aumento del 50% en los parámetros.	26
Tabla 4.3: Resultados del análisis de sensibilidad para una disminución del 50% en los parámetros.	27
Tabla 5.1: Ajuste de parámetros en la expresión de foto-redox considerando el modelo L-H.....	27