

Perfiles

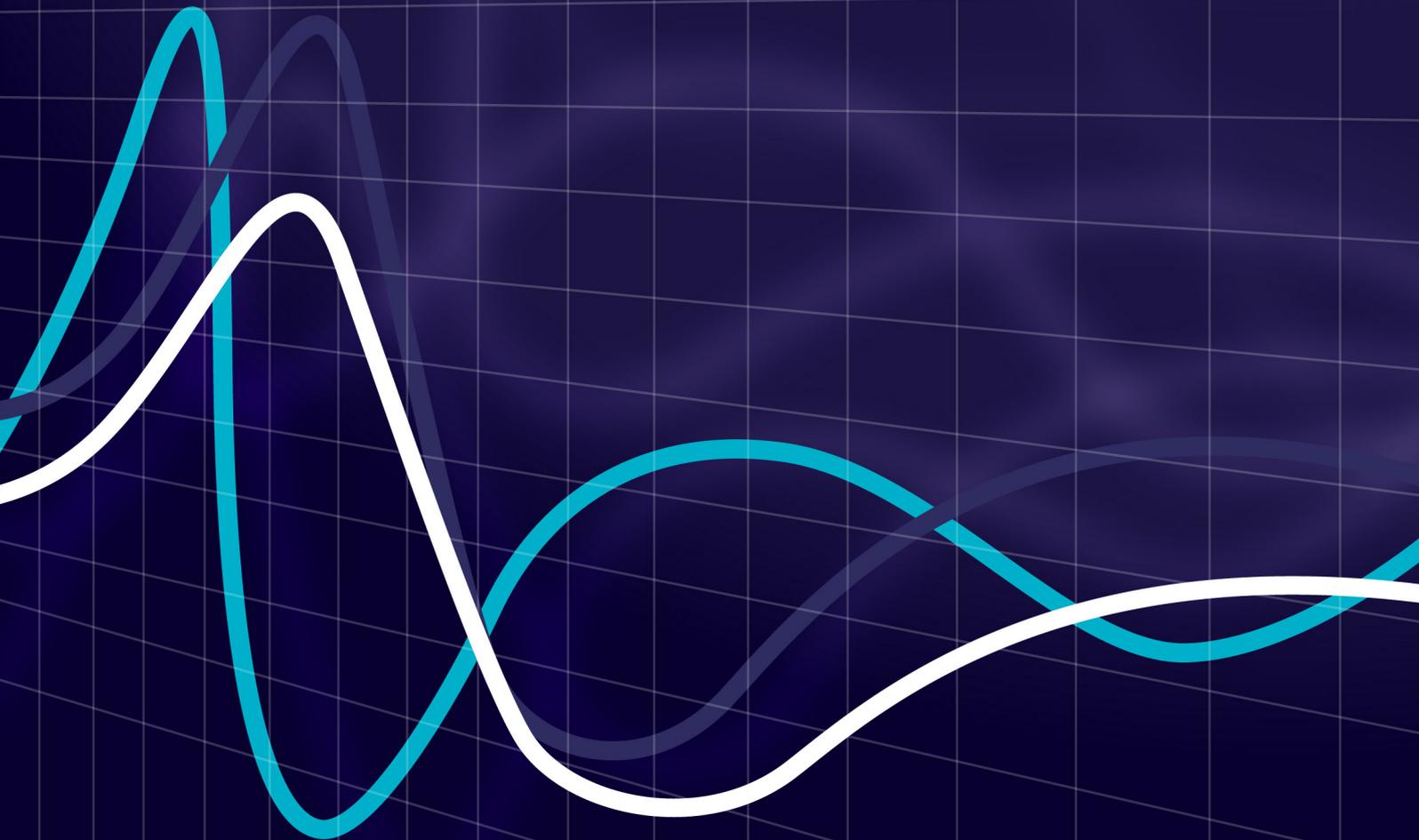


Vol. **1**

Núm. **30**

Julio - Diciembre 2023

ISSN 2477-9105



Líneas de investigación:

- Física
- Química
- Ciencias de la Salud
- Matemáticas
- Ciencias Biológicas
- Energías alternativas

Autoridades

de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Byron Ernesto Vaca Barahona Ph.D.

Rector

Ing. Jenny Basantes Ph.D

Vicerrectora Académico

Ing. Pablo Vanegas Ph.D

Vicerrector de Investigación y Posgrado

Dra. Irene Gavilanes Ph.D

Vicerrectora Administrativo

Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia MsC

Director Instituto de Investigaciones

Revista Internacional Arbitrada

Distribución libre

Correspondencias

Revista Perfiles

Panamericana Sur, km 1½

Riobamba, Ecuador

Telef.: (593) (03) 2998200 ext. 161

e-mail: revistaperfiles@epoch.edu.ec

PERFILES (ISSN 2477-9105) es una revista científica semestral publicada por la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ESPOCH

Riobamba – Ecuador

Año XXIII

Número 30

CUERPO EDITORIAL

Perfiles

EDITOR

Celso Guillermo Recalde Moreno
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Email: crecalde672000@yahoo.com
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

COMITÉ EDITORIAL

Irene Del Carmen Gavilanes Teran
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
irene.gavilanes@esepoch.edu.ec
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Elio Giroletti
Università di Pavia (Pavia PV, Italia)
Email: elio.giroletti@unipv.it

Laszlo Sajo Bohus
Universidad Simon Bolivar
Email: lsajo@usb.ve
Departamento de Física (Caracas-Venezuela)

Janne Rojas
Universidad de Los Andes
Email: janne.rojas24@gmail.com
Facultad de Farmacia (Mérida-Venezuela)

Manuel Morales Yuste
Universidad de Granada
Email: yuste@ugr.es
Facultad de Farmacia (Granada-España)

Omaira Marquez
Universidad Nacional de Chimborazo
(Riobamba, Ecuador)
Email: cgomarquez@gmail.com

Sabino Menolasina
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia (Mérida-Venezuela)
Email: menolasina1960@gmail.com

CO-EDITOR

Víctor García
Universidad Nacional de Chimborazo
(Riobamba, Ecuador)
Email: vgarcia375@gmail.com

Salvador González Carcedo
Universidad de Burgos
Email: salva@ubu.es
Facultad de Ciencias(Burgos,España)

César A. Cisneros Ramírez-
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (La Habana, Cuba)
Email: cesar@ceter.cujae.edu.cu

David Jaramillo Abril
Servicios de laboratorio analítico mínimo (Western Australia, Australia)
Email: d_jaramillo10@hotmail.com

Jorge L. Mírez Tarrillo
Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú)
Email: jmirez@uni.edu.pe

Jorge L. Mírez Tarrillo
Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú)
Email: jmirez@uni.edu.pe

Carlos F. Ávila Vega-
Universidad Técnica Equinoccial
Facultad de Ciencias (Quito, Ecuador)
Email: carlos.avila@ute.edu.ec

Cristian Vacacela Gomez
Universidad Yachay TECH(Ibarra, Ecuador)
Email: cristianvg7@gmail.com

COMITÉ CIENTÍFICO

Perfiles

Director

Jorge Efren Silva Yumi

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

jorge.silvay@esPOCH.edu.ec

Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Miembros

Carlos Francisco Carpio Coba

ccarpio@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Recursos Naturales (Riobamba, Ecuador)

José Mejía López

jmejia@puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Física (Santiago, Chile)

Gabriela Viviana Tubón Usca

gabriela.tubon@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

John Martin Evans

evansjmartin@gmail.com

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina)

Gerardo E. Medina Ramírez

medinag47@gmail.com

Universidad Estatal Amazónica
Escuela de Biología (Puyo, Ecuador)

Silvia de Schiller-

sdechiller@gmail.com

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina)

Adriana C. Rincón Alarcón

rinconadri@yahoo.com

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Natalí Alejandra Chávez Oleas-

natalichavez87@gmail.com

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
Dirección de Aplicaciones Nucleares (Quito, Ecuador)

Morella L. Guillén Ferraro-

morellaguillen@hotmail.com

Universidad Nacional de Chimborazo
Facultad de Ciencias de la Salud (Riobamba, Ecuador)

Freddy Benalcázar-

f.benalcazar@yahoo.es

Universidad Técnica de Ambato (Ambato, Ecuador)

Revisor Texto en Inglés

Jorge Juan Villarroel Santillán-

jjvillarroels@outlook.com

Trabajador Independiente

Diseño, Diagramación, Maquetación

Lcdo. José Luis Heredia Hermida Mgtr.

jose.herediah@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Tabla de contenidos

1	PARASITOSIS INTESTINAL Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO NUTRICIONAL EN PERSONAS DE LA TERCERA EDAD Verónica Cando Brito, Adriana Villarreal Sánchez, Sandra Escobar Arrieta, Tatiana Paguay, Andrea Donoso.	6 - 12
2	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y RESISTENCIA A ANTIMICROBIANOS DEL QUESO FRESCO QUE SE EXPENDE EN UN MERCADO, DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. Sandra Escobar, Ana Albuja, Kleber Tene, Henry Jara, Jennifer Ramírez.	13 - 23
3	USO RACIONAL DE ANTIINFLAMATORIOS NO ESTEROIDEOS EN EL HOSPITAL GENERAL ANDINO Verónica Cando, Laura Hernández, Jaslin Acosta, Jenny Yungan, Sofia Fiallos.	24 - 31
4	PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE BIOMASA POR MEDIO DE FERMENTACIÓN OSCURA: UNA REVISIÓN Orlando Castiblanco Urrego, David Stiven Guerrero Escárraga.	32 - 46
5	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN TEJADOS EN EL CANTÓN QUITO Mariela Tapia, Leonard Ramos, Detlev Heinemann, Edwin Zondervans.	47 - 56
6	EVALUACIÓN DEL SÍNDROME METABÓLICO A TRAVÉS DE PRUEBAS DE LABORATORIO EN ADULTOS MAYORES DEL CANTÓN AMBATO Freire Robalino Jazmín Alexandra, Reales Chacón Lisbeth Josefina, Ramos Ramírez Martha Cecilia.	57 - 65
7	MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DE TIEMPOS DE VIAJE DEL SISTEMA TROLEBÚS Alex Eduardo Pozo Valdiviezo, Leonardo David García Medina.	66 - 75

PARASITOSIS INTESTINAL Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO NUTRICIONAL EN PERSONAS DE LA TERCERA EDAD

Intestinal parasitosis and its relationship with nutritional status in elderly people

iD	¹ Verónica Cando Brito*
iD	² Adriana Villarreal Sánchez
iD	¹ Sandra Escobar Arrieta
iD	³ Tatiana Paguay
iD	⁴ Andrea Donoso

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Ciencias, Carrera de Bioquímica y Farmacia, Grupo de Investigación de Leishmaniosis y otras parasitosis del Ecuador, Riobamba, Ecuador

² Surtifarmax, Riobamba, Ecuador

³ Hospital de Especialidad San Juan, Farmacia, Riobamba, Ecuador

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

*vcando@epoch.edu.e

RESUMEN

Las infecciones por parásitos intestinales disponen un importante problema de salud, lo cual puede producir cuadros de desnutrición con graves derivaciones en el estado de salud a personas de la tercera edad. Se pretendió determinar parasitosis intestinal y su relación con el estado nutricional en personas de la tercera edad. Para este proceso se receptó muestras de heces y se realizó extracción sanguínea, mismas que fueron procesadas y tabuladas respectivamente. La presencia de parasitosis fue de 54%, el 28% presenta *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* 15% y 5% *Endolimax nana*. Los principales factores de riesgo asociados fueron los factores socio culturales como farmacológicos y de salud influyendo para identificar si la población se encuentra o no parasitada. Con el estudio del estado nutricional de acuerdo al Índice de masa corporal se evidenció que el 45% tienen un peso normal, sobrepeso con el 39%, obesidad tipo I 10%. De acuerdo al análisis estadístico realizado para determinar la correlación entre estado nutricional y parasitosis, se llegó a la conclusión que no existe relación significativa entre las variables como hemoglobina, glucosa, albúmina y fosfatasa alcalina frente a la parasitosis intestinal.

Palabras Clave: Estado nutricional, enfermedades parasitarias, factores de riesgo, prevalencia.

ABSTRACT

Intestinal parasite infections are an important health problem, which can cause malnutrition with serious repercussions in the health status of elderly people. The aim was to determine intestinal parasitosis and its relationship with nutritional status in elderly people. For this process, stool samples were collected and blood samples were taken, which were processed and tabulated respectively. The presence of parasitosis was 54%, of which 28% presented *Entamoeba coli*, 15% *Entamoeba histolytica* and 5% *Endolimax nana*. The main associated risk to identify whether the population is parasitized or

not were socio-cultural factors such as pharmacological and health factors. The study of the nutritional status according to the Body Mass Index shows that 45% have a normal weight, 39% are overweight and 10% are obese. According to the statistical analysis performed to determine the correlation between nutritional status and parasitosis, it was concluded that there is no significant relationship between variables such as hemoglobin, glucose, albumin and alkaline phosphatase versus intestinal parasitosis.

Keywords: *Nutritional status, parasitary diseases, risk factors, prevalence.*

I. INTRODUCCIÓN

Las infecciones por parásitos intestinales son un importante problema de salud(1), producto de la exposición a factores de riesgo como la inadecuada manipulación de alimentos, consumo de agua no hervida, falta de higiene y hacinamiento, al igual que puede darse por la pobreza y el desconocimiento (2).

En la actualidad la malnutrición es un trastorno común, puesto que afecta tanto al aporte energético como al aporte proteico; sin embargo, se debe considerar las consecuencias del exceso como la obesidad, hipertensión arterial e hiperglucemia, puesto que, de igual forma tienen amplia representación en pacientes de edad avanzada (3).

En la población anciana se producen cambios en cuanto a funciones corporales, que puede ser por pérdida de masa magra, ubicando a este tipo de población en riesgo de

desnutrición (4), producido ya sea por una ingesta insuficiente de nutrientes, como por la presencia de enfermedades agudas o crónicas causando efectos agravados cuando existen deficiencias inmunitarias y nutricionales (5).

La desnutrición es mucho más evidente cuanto más avanzada es la edad, todo esto debido a causas como la disfagia, la inmovilidad o determinadas complicaciones cambian sus requerimientos nutricionales (6); siendo así que, envejecer está directamente relacionado con el estado nutricional, convirtiéndose así, en un grupo vulnerable con un riesgo elevado de sufrir déficits nutricionales (7).

En la mayoría de casos, se han realizado estudios sobre la parasitosis intestinal y la relación con el estado nutricional en niños (8), así como estudios de prevalencia en adolescentes (9). Debido a la poca información actualizada sobre el adulto mayor y su estado nutricional, se considera

necesario realizar el presente estudio, todo esto, debido a que, la parasitosis acompañada de problemas como la desnutrición, alteraciones en las funciones, disminución de la masa ósea, y anemia provoca la reducción en la calidad de vida. Al realizar esta investigación se podrá establecer la prevalencia específica de parasitosis intestinal y brindar atención dirigida a los puntos críticos identificados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Fases

Se realizó un estudio transversal con los adultos mayores de las diferentes comunidades. Este proceso se lo realizó en tres fases, la primera fase consistió en socializar el proyecto de investigación “Influencia socio económica de las familias en enfermedades parasitarias y su relación con la desnutrición en niños y personas de la tercera edad en el período Enero - Diciembre 2022”. Al ser este un tema de titulación, se dio a conocer el tema con el cual se iba a trabajar “Parasitosis intestinal y su relación con el estado nutricional en personas de la tercera edad” teniendo como principal objetivo dar a conocer los beneficios que obtendrán las personas que participen en el mismo. En la segunda fase previo el consentimiento informado firmado se procedió a la toma de datos de los participantes y la toma de muestras. Finalmente, la tercera fase consistió en socializar los resultados obtenidos durante el procesamiento de las muestras y se capacitó con charlas acerca de un plan saludable y prácticas de higiene, para evitar agravar problemas de salud.

Muestra poblacional

El estudio está dirigido a adultos mayores, según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Parroquia de San Luis se obtuvo que existe un universo de 1755 adultos mayores (10).



De acuerdo a la población de adultos mayores, para la muestra que se requería era de 420 personas, pero tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión, fueron 147 las personas que estaban dispuestas a participar dentro del proyecto de investigación. El muestreo de los participantes se los realizó de forma aleatoria.

Procesamiento de las muestras

Para el procesamiento de las muestras coprológicas se utilizó lugol y solución salina junto con la ayuda del microscopio para la identificación de parásitos; para el análisis hematológico se utilizó la micro centrífuga para la determinación de hemoglobina y hematocrito, y, finalmente, para el análisis de química sanguínea se inició con la obtención del suero, luego se preparó el equipo considerando los parámetros del ensayo de acuerdo a los insertos de las distintas pruebas marca Human Alemania, y se procedió a las lecturas de los mismos.

Valoración del estado nutricional

La valoración del estado nutricional se realizó mediante mediciones antropométricas como peso, talla y determinación de Índice de masa corporal (11), se realizó encuestas con preguntas que nos permitieron obtener información sobre sus datos demográficos, hábitos alimenticios, características farmacológicas y de salud, las cuales nos permitirán determinar los principales factores de riesgo.

La clasificación del estado nutricional se realizó en base a los puntos de corte para evaluar el estado nutricional de adultos mayores según el Ministerio de Salud Pública en Ecuador siendo: muy bajo peso 16.00 a 16.99, bajo peso 17.00 a 18.99, normal 19.00 a 24.99,

sobrepeso 25.00 a 29.99, obesidad I 30.00 a 34.99, obesidad II 35.00 a 39.99 y obesidad

III 40.00 a 44.99 (12).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se lo realizó a través del programa Excel, para tabular las encuestas realizadas, de igual manera se empleó el programa estadístico IBM SPSS Statistics Base

22.0 para las variables estado nutricional y parasitosis, donde se efectuó un estudio descriptivo con tablas y figuras de frecuencias y

porcentajes. Por otro parte el análisis de la posible relación entre las variables parasitosis y estado nutricional se ejecutó a través del coeficiente de correlación de Pearson (<0.05).

Comité de ética

Al trabajar con muestras biológicas y población vulnerable se procedió a tramitar el permiso de código de ética con el objetivo de proteger la dignidad, los derechos, el bienestar y la seguridad de los seres humanos que participan en el presente trabajo de titulación (13). Para esto se procedió a revisar lista de comités de ética de investigación en seres humanos aprobados y vigentes por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (14), en este caso se trabajó con la Pontificia Universidad Católica del Ecuador para obtener el permiso correspondiente, presentando toda la documentación solicitada por la misma.

Para esto, se firmó actas de confidencialidad y anonimización con el fin de salvaguardar la información de los participantes. Del mismo modo se aplicó un formulario de consentimiento informado donde se detallaron las actividades a desarrollar, los beneficios, riesgos e implicaciones que tiene la investigación acorde a los principios de autonomía vida, justicia, dignidad y libertad.

III. RESULTADOS

Se realizó una encuesta a las personas de la tercera edad que accedieron a participar de este proyecto, las cuales nos permitieron obtener información sobre sus datos demográficos, hábitos alimenticios, características farmacológicas y de salud, lo cual nos permitirá determinar los principales factores de riesgo asociados a la parasitosis.

De los 147 participantes, el 68% ($n=100$) de la población perteneció al género femenino, mientras que el 32% $8(n=47)$ al género masculino. Al tomar datos como peso y talla nos permitió calcular el índice de masa corporal (IMC) encontrando al 45% $8(n=66)$ en un peso normal o eutrófico.

De acuerdo con los resultados coprológicos, el 53% de los adultos mayores reportaron algún tipo de parasitismo intestinal, mientras que el 33% no presentaron ningún parásito, y 14% se incluyen como Poliparasitados al presentar especies protozoarias y helmínticas.

Variable	n	%
Género		
Masculino	47	32
Femenino	100	68
Nivel de escolaridad		
Primaria	25	17
Secundaria	6	4
Superior	1	1
Ninguno	115	78
Índice de masa corporal		
Muy bajo peso	1	1
Bajo peso	3	2
Normal	66	45
Sobrepeso	58	39
Obesidad I	15	10
Obesidad II	2	1
Obesidad III	2	1

Tabla 1. Variables demográficas.

En la Tabla 1. se observan las características generales de la población de estudio, siendo el género femenino el grupo predominante 68% (n=100), en cuanto a nivel de escolaridad el 78% (n=115) no poseen ningún tipo de instrucción, del mismo modo al calcular el índice de masa corporal nos muestra que, 45% (n=66) tienen un peso normal, sobrepeso con el 39% (n=58), obesidad tipo I 10% (n=15).

	Monoparasitado (%)	Poliparasitado (%)	Ausencia (%)
FACTOR SOCIO CULTURAL			
Tipo de piso que predomina			
Baldosa	4 (3)	0 (0)	3 (2)
Cemento	35 (24)	21 (14)	48 (33)
Madera	6 (4)	1 (1)	8 (5)
Tierra	6 (4)	4 (3)	6 (4)
Mixto	2 (1)	1 (1)	2 (1)
Convivencia con animales			
Si	39 (26)	20 (14)	44 (30)
No	14 (9)	7 (5)	23 (16)
Tipo de agua que consume			
Agua Potable	41 (28)	16 (11)	49 (33)
Agua entubada	12 (8)	11 (8)	17 (11)
Pozo	0 (0)	0 (0)	1 (1)
FACTOR FARMACOLÓGICO			
Control médico			
Si	24 (16)	8 (5)	28 (19)
No	29 (20)	19 (13)	39 (27)
Toma de antiparasitario			
Si	4 (3)	2 (1)	6 (4)
No	49 (33)	25 (17)	61 (42)

Tabla 2. Factores de riesgos y parasitismo.

En la tabla 2. se detallan los principales factores de riesgo asociados al parasitismo de acuerdo a la encuesta realizada a los adultos mayores, resaltando factores socio culturales como piso que predomina la vivienda siendo el caso del piso de cemento 56 % (n=56), convivencia con animales 40% (n=59) y tipo de agua que consume siendo el de mayor porcentaje el agua potable 39% (n=57); del mismo modo los factores farmacológicos y de salud como el no tener controles médicos recurrentes 33% (n=48) y no haber tomado algún tipo de antiparasitario en los últimos meses 50% (n=74).

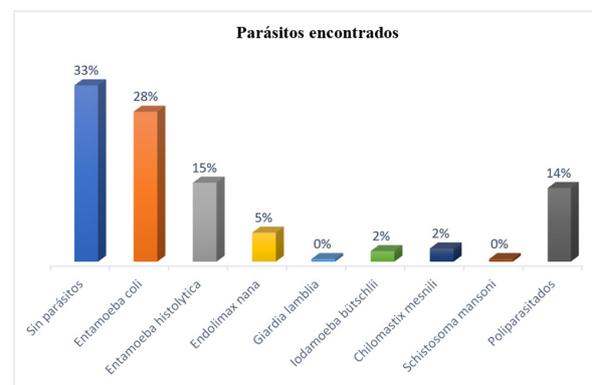


Figura 1. Distribución porcentual de presencia de parásitos gastrointestinales en adultos mayores.

En la figura 1. se puede observar que hay un 33% de ausencia de parásitos, le sigue un 28% de positividad con la especie *Entamoeba coli*, una frecuencia de *Entamoeba histolytica* con un 15%, seguido de un 5% con *Endolimax nana*, se obtuvo un 2% de positividad con las especies *Chilomastix mesnili* y *Iodameba bütschilii*, mientras que *Schistosoma mansoni* y *Giardia lamblia* no poseen un porcentaje significativo, del mismo modo se evidencia que el 14% de las muestras se encuentran poliparasitadas.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SCTipo III)						
	IMC	Hemoglobina	Hematocrito	Glucosa	Albúmina	Fosfato-saalcálcina
FV.	p - valor	p - valor	p - valor	p - valor	p - valor	p - valor
Entamoeba coli	0.1088	0.8071	0.8196	0.5830	0.7971	0.2100
Entamoeba histolytica	0.6412	0.4606	0.4779	0.8812	0.0919	0.7322
Endolimax nana	0.2405	0.9075	0.8836	0.5233	0.0900	0.3280
Giardia lamblia	0.7431	0.9173	0.9248	0.121	0.9044	0.8201
Iodameba bütschilii	0.6620	0.0030	0.0030	0.4695	0.6978	0.5332
Chilomastix mesnili	0.2730	0.1549	0.1542	0.5134	0.8534	0.5879
Schistosoma mansoni	0.5112	0.6918	0.7052	0.5953	0.5498	0.4418

Tabla 3. Relación entre parasitosis y estado nutricional.



En la Tabla 3. se muestra la relación de la parasitosis intestinal y las diferentes pruebas realizadas. Mediante el análisis estadístico SPSS se estableció que, para que exista una relación significativa entre las pruebas realizadas y los diferentes parásitos encontrados el valor de p debe estar en un rango entre 0.05 y 0.01. Se puede observar que en el caso de *Entamoeba histolytica*, *Endolimax nana*, *Iodameba bütschilii* y pruebas como hemoglobina, hematocrito y albúmina los valores son demasiado bajos y por lo tanto se descarta que exista relación entre parasitosis intestinal y estado nutricional.

IV. DISCUSIÓN

La prevalencia de parasitosis intestinal representa un problema tanto a nivel médico, sanitario como social (15), influyendo los hábitos higiénicos y alimentarios, el crecimiento demográfico, la urbanización, el acceso al agua potable, entre otros (16).

Por lo tanto, se debe desarrollar medidas de prevención contra la misma a grupos vulnerables como lo es el grupo del adulto mayor debido al incremento de patologías crónicas y enfermedades agudas (17).

Estudios realizados en Chile, evidencia que imperó el género femenino con el 80.5% de la población mientras que el género masculino tuvo una participación de 19.5% (18). Las personas entrevistadas en general no poseen ningún tipo de instrucción, presentando concordancia frente al estudio realizado en Quito, pues su nivel de escolaridad es baja con el 81%, de los cuales 59.1% alcanzaron escolaridad primaria y el 21.9% fueron analfabetos (19).

La desnutrición se relaciona con múltiples consecuencias, desde disfunción inmunitaria hasta aumento en la mortalidad (20). Sin embargo, en cuanto al estado nutricional según índice de masa corporal (IMC), en estudios afines en Bogotá se observó que la mitad de la población tiene un peso normal, seguido por un 25% con peso insuficiente, el 11% presenta Sobrepeso y el 6% Obesidad grado I (16), en comparación a nuestro estudio, en el cual, aunque el 45% de nuestra población de estudio tenga un peso normal, se evidencia pocos caso con bajo peso 2% y un realce en personas con sobrepeso 39% y obesidad I 10%.

El porcentaje de parasitosis intestinales encontrado en la población de adultos mayores puede tener varios orígenes, destacando principalmente las deficiencias inmunológicas del proceso de envejecimiento (21). A nivel de presencia de parásitos en el estudio de Bogotá se observó un amplio predominio de protozoarios (99%) y dentro de ellos los de mayor frecuencia fue *Blastocystis hominis*, *Entamoeba coli* y *Endolimax nana* (22).

De acuerdo a nuestros resultados coprológicos, el 39% de la población estudiada que cuenta con agua potable se encuentra parasitada, siendo un dato que se debe tomar en consideración para realizar nuestros programas de prevención. Según el estudio realizado en Quero el tipo de agua que consumen puede favorecer las transmisiones de parásitos en los habitantes. Los resultados mostraron que el 57% de los encuestados dispone de agua potable en su hogar, mientras que el 43% utiliza agua entubada (23).

Del mismo modo, se debe tomar en cuenta que el tipo de piso es un factor que influye en la parasitosis siendo el piso de cemento el que más impacto tiene 38% frente a cualquier otro tipo de piso como baldosa, madera o tierra, debido al aseo que se realiza en casa. De acuerdo al estudio de Zabala, el suelo contaminado es la principal fuente de infección de parásitos, por lo que se observa que 98 personas cuyos hogares predominan los pisos de tierra, madera o cemento y 37 personas poseían piso de cerámica o baldosa en sus viviendas (23).

Finalmente, el no tener controles médicos frecuentes se convierte en un factor de riesgo de contraer enfermedades agravar nuestro estado de salud (24). Se debe tomar en cuenta que tener calidad de atención en salud es de vital importancia en la calidad de vida que tengan los adultos mayores (25).

V. CONCLUSIONES

- La presencia de parasitosis en el estudio se presenta en un 54% de la población adulto mayor, con alta prevalencia en el género femenino, de parásitos protozoarios presentes con las especies *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* y *Endolimax nana*, del mismo modo se evidencia muestras poliparasitadas, donde hubo la presencia de *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica*,

Endolimax nana y *Iodameba bütschili*.

- Los principales factores de riesgo asociados a la parasitosis son los factores socio culturales como farmacológicos y de salud, siendo los más trascendentes el convivir con animales, tipo de agua que consume y el tipo de piso que predomina la vivienda.
- De acuerdo al Índice de masa corporal (IMC) entre hombres y mujeres, encontramos que el 45% que tienen un peso normal, seguido de sobrepeso con el 39% y obesidad tipo I con el 10%.
- En el análisis estadístico realizado para la correlación que pueda existir entre las variables de IMC, hemoglobina, glucosa,

albúmina y fosfatasa alcalina se observa mediante el estadístico SPSS el valor de significancia no existe relación significativa entre la parasitosis intestinal.

VI. AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, por su apoyo en la ejecución de este proyecto. Al Gobierno Autónomo Descentralizado de San Luis por su colaboración y participación.

La colaboración de la Dra. Verónica Cando y la Dra. Jaqueline Balseca miembros del Grupo de Investigación, y a la estudiante de la carrera de Bioquímica y Farmacia la Srta. Adriana Villarreal.

VI. REFERENCIAS

1. Muñoz V, Lizarazu P, Limache G, Condori D. Blastocistosis y otras parasitosis intestinales en adultos mayores del hogar San Ramón, Ciudad de La Paz, Bolivia. *Biofarbo*. 2008;16:9–15.
2. Vera N. Factores incidentes de la parasitosis intestinal en pacientes adultos atendidos en IESS Central - Guayas. Universidad de Guayaquil; 2016.
3. Serrano M, Cervera P, López C, Ribera JM, Sastre A. Guía de alimentación para personas mayores [Internet]. 1° Edición. Madrid: ERGON; 2010. 13–22 p. Available from: <https://fiapam.org/wp-content/uploads/2013/07/GuiaAlimentacion.pdf>
4. Osuna - Padilla I, Verdugo - Hernández S, Leal - Escobar G, Osuna - Ramírez I. Estado nutricional en adultos mayores mexicanos: estudio comparativo entre grupos con distinta asistencia social. *Rev Española Nutr Humana y Dietética* [Internet]. 2015;19(1):12–20. Available from: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2174-51452015000100003
5. Martínez-Barbabosa I, Gutiérrez-Quiroz M, Ruiz-González L, Romero-Cabello R, Ortiz-Pérez H, Pimienta-Lastra R, et al. Prevalencia de microorganismos intestinales parásitos y comensales en adultos mayores en la Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. *Rev Latinoam Patol Clínica* [Internet]. 2018;65(4):200–5. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/patol/pt-2018/pt184c.pdf>
6. Devera R, Angulo V, Amaro E, Finali M, Franceschi G, Blanco Y, et al. Parásitos intestinales en habitantes de una comunidad rural del Estado Bolívar, Venezuela. *Rev Biomédica* [Internet]. 2006;17(4):259–68. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2006/bio064d.pdf>
7. Iglesias L, Bermejo J, Vivas Á, León R, Villcieros M. Estado nutricional y factores relacionados con la desnutrición en una residencia de ancianos. *Gerokomos* [Internet]. 2020;31(2):76–80. Available from: <https://scielo.isciii.es/pdf/geroko/v31n2/1134-928X-geroko-31-02-76.pdf>
8. Barreno J. Parasitosis intestinal y su relación con el estado nutricional en niños del centro de desarrollo de la niñez, la Vaquería, Colta Provincia de Chimborazo [Internet]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2016. Available from: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/5741/1/56T00660.pdf>
9. Sagñay F. Prevalencia de anemia y factores de riesgos asociados en los estudiantes de octavo a tercer año de bachillerato de la Unidad Educativa Carlos María de la Condamine Cantón Pallatanga, Provincia de Chimborazo. Régimen Costa Período 2017- 2018 [Internet]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2017. Available from: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/7940/1/56T00748.PDF>
10. Pérez A, Fonseca J, Pérez J, Ríos N, Vásconez P, Ortiz E, et al. Plan de Desarrollo y Ordenamiento



- Territorial “PDOT.” Secretaria Técnica Planifica Ecuador. San Luis; 2016.
11. Castillo JL, Zenteno R. Valoración del Estado Nutricional. Rev Médica la Univ Veracruzana [Internet]. 2004;4(2):29–35. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2004/muv042e.pdf>
 12. Chang C. Guías Clínicas Geronto - Geriátricas [Internet]. 1° Edición. Quito: Ministerio de Salud Pública; 2008. 17–150 p. Available from: <https://vicenteayalabermeo.files.wordpress.com/2011/04/guc3adas-adulto-mayor.pdf>
 13. Ecuador PUC del. Comité de ética de la investigación en seres humanos [Internet]. Quito; 2004. Available from: https://puceapex.puce.edu.ec/web/ceish/wp-content/uploads/sites/19/2020/12/Reglamento-version-16.07.2020_ceish-PUCE_final_aprobado_MSP-compressed.pdf
 14. Ministerio de Salud Pública Ecuador. Lista de comités de ética de investigación en seres humanos aprobados [Internet]. Quito; 2021. Available from: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/1.-Lista-CEISH-Comites-Etica-de-Investigacion-en-Seres-Humanos-aprobacion-vigente-activos-25-02-2021.pdf>
 15. Espinosa M, Alazales M, García A. Parasitosis intestinal, su relación con factores ambientales en niños del sector “Altos de Milagro”, Maracaibo. Rev Cuba Med Gen Integr [Internet]. 2011;27(3):396–405. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/mgi/v27n3/mgi10311.pdf>
 16. González A, Hart M, Martínez M, Hidalgo T, Ramos R. Frecuencia de enteroparasitosis en los pacientes atendidos en el Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”, Cuba, 2016. Rev Cubana Hig Epidemiol [Internet]. 2017;55(3). Available from: <http://www.revepidemiologia.sld.cu/index.php/hie/rt/printerFriendly/130/229>
 17. Quintero MA. La salud de los adultos mayores: Una visión compartida [Internet]. 2° Edición. Washington: OPS; 2011. 37–65 p. Available from: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51598/9789275332504_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 18. Chavarría P, Barrón V, Rodríguez A. Estado nutricional de adultos mayores activos y su relación con algunos factores sociodemográficos. Rev Cuba Salud Publica. 2017;43(3):1–12.
 19. Guzmán M, Suaste K. Determinación del estado nutricional de los adultos mayores que acuden al servicio de consulta externa de la especialidad de medicina interna del Hospital General Dr. Enrique Garcés, en el primer semestre de 2018. Pontificia Universidad Católica del Ecuador; 2018.
 20. García T, Villalobos J. Malnutrición en el anciano. Parte I: desnutrición, el viejo enemigo. Med Interna Mex [Internet]. 2012;28(1):57–64. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/medintmex/mim-2012/mim121i.pdf>
 21. Blanco Y, Cortéz M, Henríquez J, Amaya I, Devera R. Parásitos intestinales en adultos mayores del Instituto Nacional de Servicios Sociales (INASS), Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela. Salud, Arte y Cuid [Internet]. 2013;6(2):5–19. Available from: https://www.researchgate.net/publication/275953661_PARASITOS_INTESTINALES_EN_ADULTOS_MAYORES_DEL_INSTITUTO_NACIONAL_DE_SERVICIOS_SOCIALES_INASS_CIUADAD_BOLIVAR_ESTADO_BOLIVAR_VENEZUELA
 22. Jaramillo D, Useche V. Factores de riesgo asociados a parasitosis intestinal en adultos mayores del Programa Granja Sevilla en el Municipio de Tocancipá Cundinamarca [Internet]. Pontificia Universidad Javeriana; 2012. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10409/JaramilloSanchezDeisyJohana2012.pdf?sequence=1>
 23. Zabala Parreño AE. Segregación social como un determinante de la parasitosis intestinal en los pobladores del cantón Quero en la provincia de Tungurahua [Internet]. Universidad Andina Simón Bolívar; 2019. Available from: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6992/1/T2998-MESC-Zabala-Segregacion.pdf>
 24. Falque L, Maestre G, Zambrano R, Morán Y. Deficiencias nutricionales en los adultos y adultos mayores. An Venez Nutr [Internet]. 2005;18(1). Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522005000100016
 25. Miranda A de J, Hernández L, Rodríguez A. Calidad de la atención en salud al adulto mayor. Rev Cuba Med Gen Integr [Internet]. 2009;25(3):11–24. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/mgi/v25n3/mgi03309.pdf>

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y RESISTENCIA A ANTIMICROBIANOS DEL QUESO FRESCO QUE SE EXPENDE EN UN MERCADO, DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Microbiological analysis and antimicrobial resistance of fresh cheese sold at the market, city of Riobamba

	¹ Sandra Escobar*
	¹ Ana Albuja
	² Kleber Tene
	³ Henry Jara
	⁴ Jennifer Ramírez

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias/Facultad de Salud Pública, Carrera de Bioquímica y Farmacia/Carrera de Medicina, Grupo de Investigación de Leishmaniosis y otras parasitosis del Ecuador, Riobamba, Ecuador.

² Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.

³ Hospital Pediátrico Baca Ortiz, Quito, Ecuador.

⁴ Investigador Independiente; Riobamba, Ecuador.

*saescobar@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

El objetivo fue conocer la calidad e inocuidad del queso fresco que se expende en un mercado de la Ciudad de Riobamba con la finalidad de establecer si es apto para el consumo humano, el nivel de resistencia bacteriana y las repercusiones en la salud del consumidor, siguiendo procedimientos y normativas nacionales e internacionales. Se analizó la presencia de *Staphylococcus aureus*, Coliformes totales y *Escherichia coli*, con recuentos en Placas Petrifilm 3M, el procedimiento se manejó con tres diluciones consecutivas, las mismas que se inocularon, incubaron, cuantificaron, se realizaron las pruebas confirmatorias en Placas Petri y antibiograma utilizando el método Kirby Bawer. Los resultados fueron: 1,3x10⁶ UFC/g de *Staphylococcus aureus*, 7x10⁵ UFC/g de *Escherichia coli* y 8,5x10⁵ UFC/g de Coliformes totales; después se comparó estadísticamente mediante el Test T de Student, demostrando que los valores sobrepasan los máximos permitidos para el consumo humano, lo cual indica una cadena agroalimentaria deficiente, en donde existe un gran nivel de contaminación del medio en el cual se procesan, transportan y expenden los quesos frescos, por ende se hace un llamado a las entidades municipales y gubernamentales de salud para que incluyan políticas de control y regulación.

Palabras Clave: análisis microbiológico, queso fresco, antibiograma, inocuidad, resistencia bacteriana.

ABSTRACT

The objective was to determine the quality and safety of fresh cheese sold in a market in the city of Riobamba in order to establish whether it is suitable for human consumption, the level of bacterial resistance and the repercussions on consumer health, following national and international procedures and regulations. The presence of *Staphylococcus aureus*, total coliforms and *Escherichia coli* was analyzed with counts in 3M Petrifilm Plates, The procedure was handled with three consecutive dilutions,



which were inoculated, incubated, quantified, and confirmatory tests were performed in Petri Plates and antibiogram using the Kirby Bawer method. The results were: 1.3×10^6 CFU/g of *Staphylococcus aureus*, 7×10^5 CFU/g of *Escherichia coli* and 8.5×10^5 CFU/g of total coliforms. Statistical comparisons were then performed using the Student's t-test. It was found that the levels exceed the maximum values allowed for human consumption, which indicates a deficient agri-food chain, where there is a high level of contamination of the environment in which fresh cheeses are processed, transported and sold. In this regard, a call is made to municipal and governmental health entities to include control and regulation policies.

Keywords: *microbiological analysis, cottage cheese, antibiogram, safety, bacterial resistance.*

I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad Riobamba existe un mercado de gran popularidad y concurrencia, donde se comercializan muchos productos, como lácteos y sus derivados, procesados artesanalmente y de origen agrícola(1).

Un producto que es muy solicitado es el queso fresco, que se define como, “el producto que está dispuesto para el consumo al finalizar el proceso de fabricación”(2). Siendo éste el resultado de la coagulación y posterior amasado de la leche proveniente de bovinos sanos y exento de sustracción o adición de componentes extras excepto cuajo o sal. Mientras que la normativa NTE INEN 1528:2012 define al queso como el producto blando, semiduro, duro y extraduro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche, además que debe cumplir con las características tanto físicas, químicas y microbiológicas, asegurando así un producto inocuo y de calidad para el consumidor(3). Este producto es expandido por gran variedad de artesanos y vendedores ambulantes que se encuentran tanto al interior como al exterior del mercado en condiciones insalubres, que son elaborados con leche cruda sin ninguna medida de higiene, y en muchos de los casos no llevan ningún registro sanitario, tampoco se embalan en un material adecuado para su conservación y como resultado sin inocuidad, sumado a ello se los tiene en condiciones ambientales y no en cadena de frío, razón por la cual existe una elevada contaminación de microorganismos y al no haber un control adecuado en su elaboración, embalaje, almacenamiento y conservación ocasionan daños en la salud de los consumidores generando los ETAs (Enfermedades

Transmitidas por Alimentos)(4).

Según estimaciones cada año las enfermedades diarreicas de transmisión alimentaria o hídrica se cobran la vida de 2,2 millones de personas, en su mayoría niños(5). La primera estimación de la carga mundial de las enfermedades de transmisión alimentaria muestra que casi 1 de cada 10 personas enferman cada año al ingerir alimentos contaminados. Los niños menores de 5 años corren un riesgo particularmente grande y 125.000 niños mueren cada año de enfermedades de transmisión alimentaria (6), esto tomando en cuenta solamente los casos que se reportan a nivel mundial ante la OMS.

Un daño adyacente que se presenta con el uso inadecuado de antibióticos en los bovinos es la resistencia microbiana, la cual afecta tanto a los ganados como al consumidor final del derivado lácteo, en donde los microorganismos presentan una inmunidad ante los efectos de antibióticos, generando mayor frecuencia de infecciones que deben ser tratadas con fármacos de amplio espectro(7,8).

Por todo ello es importante conocer la calidad e inocuidad de los quesos frescos elaborados a partir de la leche cruda, que se expende en un mercado de la Ciudad de Riobamba con la finalidad de establecer si es o no apto para el consumo humano, además realizar el análisis microbiológico que permite evaluar la calidad sanitaria del producto, al cuantificar la carga microbiana en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y Coliformes totales, que son los principales causantes de las ETAs tales como las infecciones gastrointestinales, infecciones de las vías respiratorias altas, Salmonelosis, entre otras(9).

El estudio microbiológico permitirá conocer si el alimento es inocuo o no y por ende si es apto para el consumo humano, de acuerdo con las ordenanzas municipales está prohibido la venta de quesos frescos artesanales elaborados a partir de leche cruda, pero hasta la actualidad en diferentes mercados de Riobamba y del país siguen expendiendo este producto por ser considerado parte de la canasta básica, que de una u otra manera representan un peligro, debido a su inseguridad por las condiciones de elaboración.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Lugar de la investigación.

El estudio se llevó a cabo en un mercado muy concurrido de la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, lugar en el cual se tomaron las muestras de queso fresco para el análisis microbiológico, el mismo que fue realizado en los laboratorios de Análisis Bioquímicos y Bacteriológicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

B. Período de la investigación

Las muestras de queso fresco fueron recolectadas durante varios días del mes mayo del 2016, los análisis tanto de recuento microbiano, como de resistencia bacteriana fueron llevados a cabo de manera inmediata tras la toma de muestra evitando que en el queso fresco proliferen mayor cantidad de microorganismos y evitando una contaminación cruzada.

C. Materiales, Equipos y Reactivos

Materiales
<ul style="list-style-type: none"> Alcohol Industrial, Alcohol Potable, Algodón, Asa y aguja de inoculación, Balones aforados. Cajas Petri, Cinta indicadora de esterilización, Cooler, Discos de antibióticos, Dispensor para placas Petrifilm. Estándar Mac Farland, Franela, Frascos de vidrio estériles, Gel refrigerante. Gradillas, Hisopos estériles, Lámpara de alcohol, Marcador permanente, Matraces Erlenmeyer. Parafilm, Pinza para discos, Pipeta automática de 1000 µL, Placas portaobjetos, Probeta. Puntas azules estériles, Regla, Reverbero, Solución salina estéril, Tego al 2%, Toallas absorbentes. Tubos de ensayo, Tubos Durhan.

Tabla 1. Materiales.

Medios de cultivo bacteriano	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> Agar Eosina Azul de Metileno(EAM) Agar Estándar Métodos Agar Manitol Salado Agar Mueller Hinton Agua peptonada Placas Petrifilm 3M: E. coli/Coliformes y StaphExpress. 	<ul style="list-style-type: none"> Autoclave Balanza Cámara de flujo laminar Estufa Microscopio Refrigerador Cámara fotográfica 	<ul style="list-style-type: none"> Aceite de inmersión Agua destilada Kit para tinción Gram: cristal violeta, lugol, acetona y safranina. Disco de confirmación para <i>Staphylococcus aureus</i>.

Tabla 2. Equipos y reactivos.

Métodos

1) Recolección y transporte de muestras

Se llevó a cabo de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 4 para Leche y productos lácteos (10), al igual que el proceso de muestreo, se lo realizo tomando en cuenta las normas de asepsia para no contaminar el producto lácteo. Los quesos frescos, una vez realizada su adquisición se los colocó en una funda Zíploc previamente codificada con la fecha y el número asignado al punto de expendio, posteriormente se los ubicó en el Cooler con Frío Gel, para su transporte a los Laboratorios de Análisis Bioquímicos y Bacteriológicos de la Facultad de Ciencias- ESPOCH(11).

2) Preparación de la solución madre y diluciones

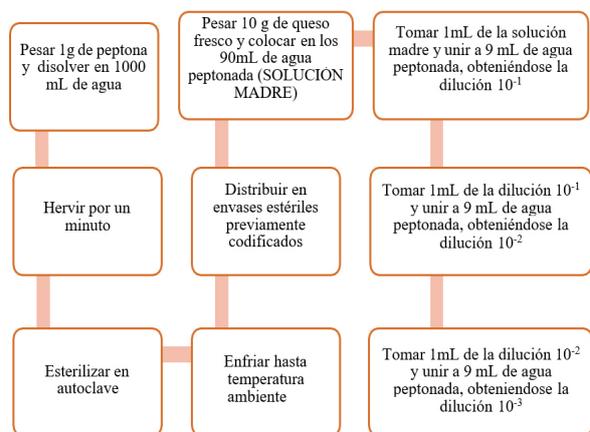


Figura 1. Preparación de agua peptonada y diluciones de la muestra.

B. Staphylococcus aureus.

Punto de expendio	Repetición	Staphylococcus aureus x10 ⁴ UFC/g	Media x10 ⁴ UFC/g
Q1	R1	160	180
	R2	200	
	R3	180	
Q2	R1	60	133
	R2	120	
	R3	220	
Q3	R1	220	246
	R2	300	
	R3	60	
Q4	R1	140	180
	R2	240	
	R3	160	
Q5	R1	240	139
	R2	160	
	R3	17	
Q6	R1	33	24
	R2	18	
	R3	21	
Q7	R1	100	63
	R2	46	
	R3	43	

Tabla 4. Recuento de la microbiota analizada en Placas Petrifilm 3M Staph Express para Staphylococcus aureus.

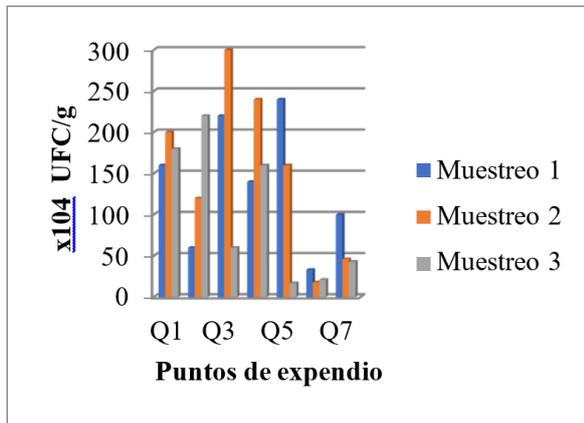


Figure 3. Recuento de Staphylococcus aureus en UFC/g.

C. Coliformes totales.

Punto de expendio	Repetición	Coliformes totales x10 ⁴ UFC/g	Media x10 ⁴ UFC/g
Q1	R1	60	126
	R2	160	
	R3	160	
Q2	R1	80	88
	R2	5	
	R3	180	
Q3	R1	160	100
	R2	120	
	R3	20	
Q4	R1	5	51
	R2	50	
	R3	100	
Q5	R1	140	101
	R2	160	
	R3	5	
Q6	R1	18	24
	R2	3	
	R3	53	
Q7	R1	140	102

Tabla 5. Recuento de la microbiota analizada en Placas Petrifilm 3M para Coliformes Totales.

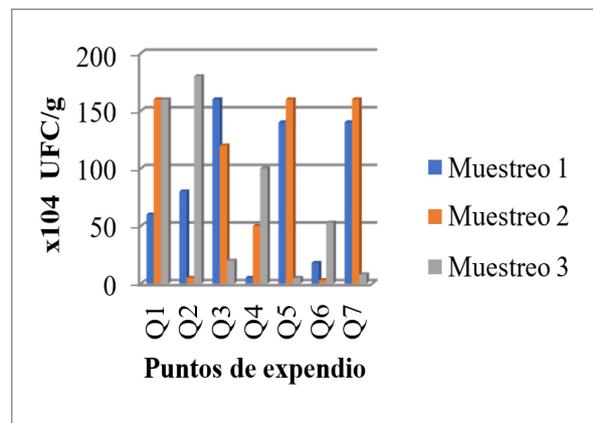


Figure 5. Recuento de Coliformes totales en UFC/g.

	Prueba de muestra única					
	Valor de prueba = 1000 UFC/g					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior	
Staphylococcus aureus	6.859	20	0,00	1302809.524	906600.7150	1699018.333

Figure 4. Test T de Student para una muestra para Staphylococcus aureus.

	Prueba de muestra única					
	Valor de prueba = 500 UFC/g					
	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior	
Coliformes totales	5.871	20	0,000	850452.3810	548311.8650	1152592.897

Figure 6. Test de Student para Coliformes totales.



D. Escherichia coli.

Punto de expendio	Repetición	Escherichia coli x10 ⁴ UFC/g	Media x10 ⁴ UFC/g
Q1	R1	20	93
	R2	120	
	R3	140	
Q2	R1	60	74
	R2	4	
	R3	160	
Q3	R1	140	86
	R2	100	
	R3	18	
Q4	R1	3	41
	R2	40	
	R3	80	
Q5	R1	120	88
	R2	140	
	R3	4	
Q6	R1	16	22
	R2	3	
	R3	48	
Q7	R1	120	88

Tabla 6. Recuento de la microbiota analizada en Placas Petrifilm 3M para *Escherichia coli*.

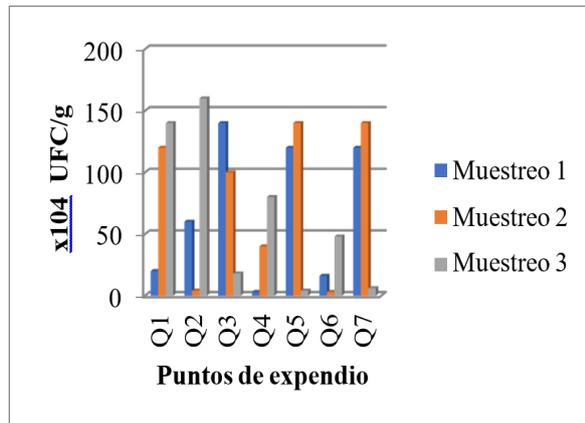


Figure 7. Recuento de *Escherichia coli* totales en UFC/g.

	Prueba de muestra única					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
<i>Escherichia coli</i>	5.563	20	0,000	705704.2857	441097.3394	970311.2320

Figure 8. Test T de Student para una muestra para *Escherichia coli*.

E. Recuento de la microbiota analizada por la Técnica del Número Más Probable.

Punto de expendio	Número de tubos positivos por dilución			NMP por mL
	Dilución 10 ⁻¹	Dilución 10 ⁻²	Dilución 10 ⁻³	
Q1	3	3	2	1100
Q2	3	3	1	460
Q3	3	3	2	1100
Q4	3	3	2	1100
Q5	3	3	2	1100
Q6	3	3	1	460
Q7	3	3	2	1100

Tabla 7. Recuento de la microbiota analizada por la Técnica del Número Más Probable.

F. Prueba confirmatoria de Escherichia coli de NMP en Agar Eosina Azul de Metileno.

Punto de expendio	Repetición	Resultado
Q1	R1	+
	R2	+
	R3	+
Q2	R1	+
	R2	+
	R3	+
Q3	R1	+
	R2	+
	R3	+
Q4	R1	+
	R2	+
	R3	+
Q5	R1	+
	R2	+
	R3	+
Q6	R1	+
	R2	+
	R3	+
Q7	R1	+
	R2	+
	R3	+

Figure 8. Prueba confirmatoria de *Escherichia coli* de NMP en Agar Eosina Azul de Metileno.

G. Antibiograma de *Staphylococcus aureus*

Punto de expendio	Repetición	Penicilina	Gentamicina	Ampicilina	Estreptomina	Amoxicilina	Ácido nalidixico
Q1	R1	S	S	R	S	S	R
	R2	S	S	S	S	S	S
	R3	R	S	R	S	S	S
Q2	R1	R	S	R	S	S	S
	R2	R	S	S	S	S	R
	R3	R	S	R	S	S	S
Q3	R1	R	S	R	S	R	S
	R2	R	R	R	S	S	R
	R3	S	S	S	S	S	S
Q4	R1	R	S	R	R	S	R
	R2	R	S	S	S	S	S
	R3	S	S	R	S	R	S
Q5	R1	R	R	R	S	S	S
	R2	R	S	R	S	S	S
	R3	R	S	S	S	S	S
Q6	R1	R	R	R	S	R	S
	R2	R	S	R	S	S	S
	R3	R	S	R	S	S	S
Q7	R1	R	S	R	S	S	S
	R2	R	S	R	S	S	S
	R3	S	R	R	S	S	S
% Resistencia		76.2	19	76.2	4.8	14.3	19
% Sensibilidad		23.8	81	23.8	95.2	85.7	81

Tabla 9. Resultados del Antibiograma de *Staphylococcus aureus*.

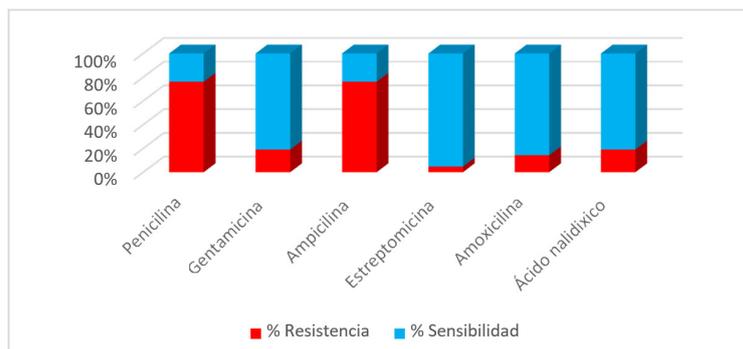


Figura 7. Nivel de sensibilidad y resistencia de *Staphylococcus aureus*.

H. Antibiograma de *Escherichia coli*

Punto de expendio	Repetición	Penicilina	Gentamicina	Ampicilina	Estreptomina	Amoxicilina	Ácido nalidixico
Q1	R1	S	S	R	R	R	S
	R2	R	S	S	S	R	S
	R3	R	S	S	S	S	S
Q2	R1	R	S	S	S	S	S
	R2	S	S	R	S	S	S
	R3	R	S	R	S	R	S
Q3	R1	R	S	S	S	S	S
	R2	R	S	S	S	S	S
	R3	S	S	S	S	S	S
Q4	R1	R	S	R	S	S	S
	R2	R	S	R	S	R	S
	R3	S	S	R	S	S	S
Q5	R1	R	R	R	S	R	S
	R2	R	S	R	S	R	S
	R3	R	R	R	S	R	S
Q6	R1	R	S	S	S	S	S
	R2	R	S	R	S	R	S
	R3	S	S	R	S	R	S
Q7	R1	R	S	R	S	R	S
	R2	R	S	R	S	R	S
	R3	R	S	R	S	R	S
% Resistencia		76.2	9,5	66.7	4,7	57.1	0
% Sensibilidad		23.8	90,5	33.3	95,3	42.9	100

Tabla 10. Resultados del Antibiograma de *Escherichia coli*

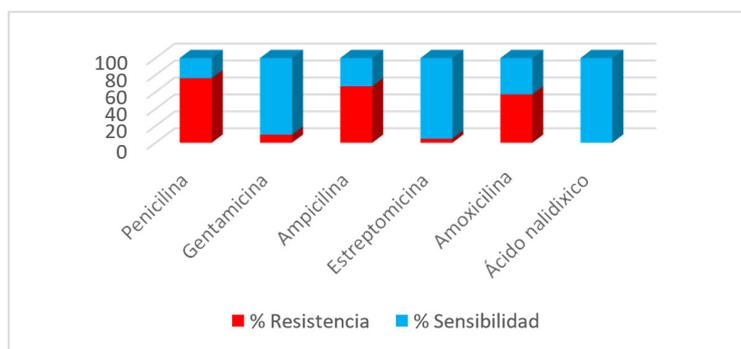


Figura 8. Nivel de sensibilidad y resistencia de *Escherichia coli*.

IV. DISCUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos, en la tabla 3, se puede observar el recuento total de los microorganismos analizados en el queso fresco, siendo estos *Staphylococcus aureus*, Coliformes totales y *Escherichia coli*, todos ellos expresados en UFC/g de queso.

En la tabla 4, se detallan datos obtenidos del recuento microbiano de las cajas Petrifilm 3M Staph Express para *S. aureus*, el cual se resume en la figura 3, donde las medias de los recuentos de *S. aureus* van desde 24×10^4 hasta los 246×10^4 UFC/g, comparado con la Norma NTE INEN 1528 de 2012 establece que el índice máximo aceptable de calidad es de 1000 UFC/g lo cual indica claramente que todas las muestras al sobrepasar este valor no son aptas para el consumo humano. En la figura 4, se resume el Test T de Student para una muestra que permite comparar la media del grupo de recuentos de la microbiota de cada uno de los puntos de expendio analizados con el valor de referencia de 1000 UFC/g de queso siendo el índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad, los resultados del test muestran una Significancia de 0,000 que es menor a 0,05, concluyendo con un 95% de confianza que la cantidad de microorganismos son significativamente mayor al valor de referencia por lo que no es apto para el consumo humano. El nivel de contaminación registrada revela un inadecuado proceso, transporte y expendio de los quesos, por ende, se evidencia un deficiente manejo en las Buenas prácticas de higiene(12).

Un estudio similar publicado por Luján (13), quienes realizaron la evaluación de la presencia de *S. aureus* en quesos frescos artesanales en tres distritos de Lima – Perú, reportó que el 80 % de muestras estaban por encima del límite máximo permitido, además señalan que el alto

grado de contaminación alcanzado por este alimento proveniente del contacto con la piel, boca y fosas nasales de quienes manipularon el alimento. El *S. aureus*, según Figueroa (14) pueden llegar a los alimentos de muchas fuentes, la presencia en los alimentos se asocia a una inadecuada manipulación o al empleo de materias primas contaminadas (14). Tomando en cuenta los resultados ninguno de los quesos frescos se encuentra con una carga microbiana permitida por la norma INEN 1528, por lo que no se consideran aptos para el consumo humano, ya que su presencia pone en alerta la sanidad alimentaria por la producción de toxinas que contribuyen a su patogenicidad al aumentar su capacidad de invadir y dañar tejidos(15).

En cuanto a los recuentos obtenidos de los cultivos de Coliformes totales en Placas Petrifilm, detallados en la tabla 5, y resumido en la figura 5, donde se observa que los recuentos van desde 24×10^4 hasta los 126×10^4 UFC/g, lo cual supera notablemente lo establecido en la Norma Nicaragüense NTON 03 022 – 99 (16), de quesos frescos no madurados en donde el límite para Coliformes totales es 500 UFC/g. Mientras que según los resultados del Test de Student, dados en la figura 6, el valor de significancia fue de 0,000, lo cual indica que los valores obtenidos son significativamente mayores al valor de 500 UFC/g, evidenciándose que el nivel de coliformes totales se debe a la contaminación por desperdicios cloacales y posible presencia de bacterias entéricas patógenas. Resultados similares fueron encontrados en estudios realizados por Díaz y González (10), en donde el *S. aureus* en los quesos evaluados excedían el criterio microbiológico para Coliformes Totales y Fecales en 97,22% y 98,61 %, respectivamente (17).

Los datos obtenidos para *Escherichia coli*, se muestran en la tabla 6 y en la figura 7 se resume el recuento obtenido que en base a la Norma NTE INEN 1528, en la cual enuncia que el Índice Máximo Permisible de *E. coli* es de 10 UFC/g, valor que ha sido sobrepasado por todas las muestras de queso fresco analizados, esto es un claro indicio de la calidad del queso fresco expendido y el peligro biológico que representa para la población que lo consume. Según lo expuesto en la figura 8, tras la realización del Test T Student con un nivel de significancia de 0,000 el cual es menor a 0,05 se puede decir que los valores de los recuentos de *E. coli* son significativamente mayores al valor de la norma, por ende, no son aptos para el consumo(18). *Escherichia coli* en muestras alimenticias y en este caso lácteas es un indicativo de contaminación fecal especialmente por las deficientes condiciones higiénicas en las que se elaboran los quesos frescos además de las técnicas de ordeño, la limpieza de la piel de los pezones, manos del ordeñador y pezoneras(19). Nuestro estudio concuerda con investigaciones realizadas en Bolivia en donde Mariscal (20), reportaron que el 100% de las muestras de queso fresco que se expenden en los mercados de abasto de Trinidad presentaron valores mayores al nivel aceptado para *Escherichia coli*. Esto indica claramente la importancia de la pasteurización de la leche para la elaboración del queso fresco (20).

La realización de la técnica del Número Más Probable según lo indicado en la tabla 7, confirma la presencia y recuento del análisis realizado por las placas Petrifilm para Coliformes ya que al igual que estas en todos los casos dio positivo con recuentos elevados muy por encima de los valores permitidos por la Norma mexicana NOM-243-SSA1-2010(21), la misma que menciona 10 NPM/g. Como podemos observar los resultados están desde los 460 a los 1100 NMP/g, superando en todos los casos el máximo permitido por la norma, resultados similares fueron presentados, por Dávila (22), en donde se analizó la calidad microbiológica de la materia prima para la elaboración de queso, encontrándose el recuento de Coliformes totales elevados, oscilando entre 4.6×10^4 NMP/mL y $2,4 \times 10^5$ NMP/mL, indicativo de posibles malas prácticas de manipulación en el ordeño del ganado vacuno y una inadecuada refrigeración inmediatamente después que se ha obtenido la misma (22).

Posteriormente, se llevó a cabo la confirmación a través de la siembra del inóculo de los tubos en

Agar Eosina Azul de Metileno, medio de cultivo específico para el crecimiento de *Escherichia coli*, como se observa en la tabla 8, todos dieron positivo al presentar crecimiento de colonias de color verde metálico característico de *E. coli*, lo cual indica que son microorganismos fermentadores de lactosa y por ende la producción de gas en el Tubo Durhan (23).

En cuanto a los resultados obtenidos del antibiograma, como se puede observar en la tabla 9 y figura 9, para *Staphylococcus aureus* presenta resistencia significativa a 2 antibióticos siendo estos penicilina y ampicilina, en ambos casos con un porcentaje de resistencia del 76.2 % de las muestras, ambos antibióticos pertenecen al grupo de los *Betalactámicos*, lo cual indica una estructura similar y familiaridad entre estos, facilitando a los microorganismos el desarrollo de resistencias para el mismo grupo. Para antibióticos como estreptomycin, amoxicilina, gentamicina y ácido nalidixico el *S. aureus*, presentó un nivel de resistencia mínimo es decir muy pocas muestras alcanzando un promedio del 14%, por lo tanto, se desea concientizar a la población ganadera de la provincia y el país a utilizar dichos medicamentos de forma racional y solo bajo la supervisión de un veterinario (24).

El estudio realizado por Cholca (14), de los antibióticos empleados en ganado expone que una de las familias de antibióticos empleados con mayor frecuencia corresponde a los *betalactámicos* (39%) grupo dentro del cual se encuentra la penicilina y ampicilina, manifestándose además que ya existe evidencia de resistencia a este grupo de medicamentos (25).

En la tabla 10 y figura 10, se detalla el nivel de sensibilidad y resistencia de *Escherichia coli* observándose, la cantidad de muestras que presentaron resistencia (color rojo), siendo las más significativas para Penicilina, Ampicilina y Amoxicilina con un promedio del 66.6%, todos estos antibióticos pertenecen a grupo de los *betalactámicos* siendo estos los más utilizados en muchos casos de manera irracional, razón por la cual en ambos casos presentan la mayor resistencia bacteriana. La *Escherichia coli* ante la gentamicina, ácido nalidixico y estreptomycin presentó un alto nivel de sensibilidad, estos antibacterianos generalmente no son usados por los ganaderos en el caso de infecciones mastíticas, de vías urinarias, respiratorias o del tracto gastrointestinal, lo que explica su



alta sensibilidad a estos fármacos. Trabajos de investigación como los de Máttar (26), para evaluar la sensibilidad a antibióticos se emplearon 371 muestras de las cuales se aisló *E. coli* en un 3.8%. Los porcentajes de resistencia de *Escherichia coli*, en donde demostraron el 86% de resistencia para ampicilina, 57% a kanamicina, y un 93% para penicilina (26).

V. CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis microbiológico de los quesos frescos que se expenden en un mercado de la ciudad de Riobamba, donde se determinó que no son aptos para el consumo humano debido a los recuentos elevados de la microbiota encontrada, para Coliformes totales $8,5 \times 10^5$ UFC/g, *Staphylococcus aureus* $1,3 \times 10^6$ UFC/g y *Escherichia coli* 7×10^5 UFC/g, encontrándose todos por encima del máximo permisible por la norma NTE INEN 1528:2012, la cual indica para *Staphylococcus aureus* 10^2 UFC/g, para *Escherichia coli* 10 UFC/g, y el valor establecido para Coliformes totales por la Norma Nicaragüense NTON 03 022 - 99 Norma de quesos frescos no madurados en donde el límite es 500 UFC/g, los valores hallados indican claramente una cadena agroalimentaria deficiente, en donde existe un gran nivel de contaminación por parte del medio en el cual se procesan, transportan y expenden los quesos frescos, y siendo causantes de las ETAs (Enfermedades de Transmisión Alimentaria).
- Se comparó entre los recuentos y los valores establecidos en las respectivas Normas por medio del Test T Student en el Software

VI. REFERENCIAS

1. Andrade C, Ayaviri D. Demanda y Consumo de Productos Orgánicos en el Cantón Riobamba, Ecuador. Información tecnológica. 2018;29(4): 217–26.
2. Gil Á. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid-España: Médica Panamericana; 2010, 1(3): 8–12.
3. Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN). Norma general para quesos frescos no madurados 1528:2012. Quito-Ecuador; 2012.
4. Fernández S, Marcía J. Enfermedades transmitidas por Alimentos (Etas); Una Alerta para el Consumidor. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2021 May;5(2):2284–98.
5. Organización Mundial de La Salud (OMS). Inocuidad de los alimentos. Enfermedades de transmisión alimentaria. Ginebra-Suecia.; 2016.
6. Organización Mundial de La Salud (OMS). Informe de la OMS señala que los niños menores de 5 años representan casi un tercio de las muertes por enfermedades de transmisión alimentaria. Ginebra-Suecia; 2015.

Estadístico SPSS Statistics de IBM, el cual indicó que todos los recuentos de los microorganismos se encuentran significativamente por encima de los Índices máximos permisibles para el consumo humano.

- Se llevó a cabo el antibiograma en donde las cepas de *Staphylococcus aureus* presentaron resistencia a penicilina y ampicilina en un 76,2% de las muestras y sensibilidad a gentamicina, estreptomina, amoxicilina y ácido nalidíxico en un promedio del 14%, lo que indica un nivel de resistencia bacteriana a los *Betalactámicos* los cuales son los más empleados en vacunos ante la presencia de infecciones y como no requieren de una prescripción por un veterinario son fáciles de adquirir, por lo que se presta para su uso irracional.
- Las cepas *Escherichia coli* encontradas en el queso fresco presentaron resistencia a penicilina en un 76,2%, ampicilina en un 66,7% y amoxicilina en un 57,1%, mientras que son sensibles a gentamicina en 90,5%, estreptomina en 95,7% y ácido nalidíxico en un 100% de las muestras analizadas.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Municipio de Riobamba por la apertura para el desarrollo de investigación, la colaboración de la Dra. Ana Albuja, Dra. Sandra Escobar, Dra. Verónica Cando miembros del Grupo del Investigación LEISHPAREC, BQF. Alexandra Trujillo y a los estudiantes de la carrera de Bioquímica y Farmacia Sr. Kleber Tene y la Srta. Laura Hernández y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

7. Gatica M de los A, Rojas H. Gestión sanitaria y resistencia a los antimicrobianos en animales de producción. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2018 Mar 27;35(1):118.
8. Organización Mundial de la Salud (OMS). Dejemos de administrar antibióticos a animales sanos para prevenir la propagación de la resistencia a los antimicrobianos [Internet]. 2017 [citado 2022 Dic. 17]. p. 1. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>
9. Soto Z, Pérez L. Bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos. *Salud Uninorte*. 2016 Jan 15;32(1):105–22.
10. NTE INEN. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 4 para Leche y productos lácteos. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/4-1.pdf>. 2009.
11. CODEX. Código de prácticas de higiene para la leche y los productos lácteos. In: *Leche y Productos Lácteos* [Internet]. 2nd ed. 2009 [citado 2022 Dic. 17]. p. 9–12. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CODEX-57.pdf>
12. Merchán N. Determinación de la inocuidad microbiológica de quesos artesanales según las normas técnicas colombianas. *Revista chilena de nutrición*. 2019;46(3):288–94.
13. Luján D, Valentín M. Evaluación de la presencia de *Staphylococcus aureus* en quesos frescos artesanales en tres distritos de Lima–Perú. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 2006;7(<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=13245>):1–6.
14. Figueroa G, Navarrete P. Portación de *Staphylococcus aureus* enterotoxigénicos en manipuladores de alimentos. *Rev Med Chil*. 2002;130(8):859–64.
15. Camussone C, Calvino F. Factores de virulencia de *Staphylococcus aureus* asociados con infecciones mamarias en bovinos: relevancia y rol como agentes inmunógenos. *Rev Argent Microbiol*. 2013;45(2):119–30.
16. Norma NTON 03 022 – 99. características y especificaciones de quesos frescos o no madurados. [Internet]. Nicaragua. 2015 [citado 2022 Dic]. p. 5–7. Disponible en: <https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/1%20Inocuidad%20Alimentaria/Normativas%20Generales/ACTUALIZACION>
17. Díaz R, González B. *Staphylococcus aureus* en queso blanco fresco y su relación con diferentes microorganismos indicadores de calidad sanitaria. *RESPYN Revista Salud Pública Y Nutrición*. 2001;2(<https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/68>):1–9.
18. Vásquez V. Evaluación de la calidad bacteriológica de quesos frescos en Cajamarca. *Ecología Aplicada*. 2018;17(1):45.
19. Guillén L, Millán B, Araque M. Caracterización molecular de cepas de *Escherichia coli* aisladas de productos lácteos artesanales elaborados en Mérida, Venezuela. *Infectio*. 2014 Jul;18(3):100–8.
20. Miranda García MC. *Escherichia coli* portador de betalactamasas de espectro extendido: resistencia. *Sanidad Militar*. 2013;69(4):244–8.
21. NOM-243-SSA1-2010. Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos [Internet]. 2010 [citado 2022 Dic. 17]. p. 6–7. Disponible en: <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>
22. Dávila J, Reyes G. Evaluación Microbiológica de las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Queso Tipo Gouda en una Industria Venezolana. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2006;52(<http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222006000100008> & script=sci_arttext):51–9.
23. Ramírez J. Manual de laboratorio de microbiología. In: *Facultad de Química Farmacéutica Biológica* [Internet]. 1st ed. 2018 [citado 2022 Dic. 17]. p. 22–6. Disponible en: <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/Guia-de-Microbiologia.pdf>
24. Torres S, Pacheco K. *Staphylococcus aureus* resistentes a metilina en alimentos. *Revista Vive*. 2021 Dec 13;4(12):457–69.
25. Cholca G, Emerita S. Análisis de la situación del uso de medicamentos (antibióticos y antiparasitarios) en las unidades productivas de los centros de acopio y enfriamiento de leche Sto. Domingo No1 y Puliza. [Quito-Ecuador]: Universidad Politécnica Salesiana; 2012.
26. Máttar S, Calderón A. Detección de Antibióticos en Leches: Un Problema de Salud Pública. *Revista de Salud Pública*. 2009;11(http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642009000400009):579–90.

USO RACIONAL DE ANTIINFLAMATORIOS NO ESTEROIDEOS EN EL HOSPITAL GENERAL ANDINO

Rational use of non-steroidal anti-inflammatory drugs at the Andino general hospital

iD	¹ Verónica Cando*
iD	² Laura Hernández
iD	³ Jaslin Acosta
iD	⁴ Jenny Yungan
iD	⁵ Sofia Fiallos

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Ciencias, Carrera de Bioquímica y Farmacia, Grupo de Investigación de Tecnología Farmacéutica y Atención Farmacéutica, Riobamba, Ecuador.

² Farmacia Española, Riobamba, Ecuador

³ Farmacia FarmaSur, Riobamba, Ecuador

⁴ Farmacia Genopharma, Riobamba, Ecuador

⁵ Centro de Salud MSP Cayambe Distrito 17D10, Quito, Ecuador.

* vcando@esepoch.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el uso de antiinflamatorios no esteroideos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino en el periodo enero 2017 - julio 2018. Para lo cual, se realizó un análisis retrospectivo de 204 historias clínicas. Se analizaron principalmente las interacciones medicamentosas presentadas, la concordancia del tratamiento con los protocolos terapéuticos aprobados por el Ministerio de Salud Pública 2012, y la existencia de posibles problemas relacionados con los medicamentos (PRMs). Siendo la población de estudio en edades de 54 a 81 años. Como resultados, se identificaron 286 prescripciones de AINEs, siendo mayoritario el uso de Paracetamol (56.64 %), Ketorolaco (26,92%), Ibuprofeno (10,14 %), Diclofenaco (5,94 %) y Ácido acetilsalicílico (0,35 %). También se detectaron siete interacciones medicamentosas en las que estuvieron implicados diclofenaco e ibuprofeno. Un 54,41 % de los tratamientos no tuvieron concordancia con los protocolos terapéuticos nacionales descritos por el MSP. Se encontraron 124 casos de PRMs, de los cuales 55,58 % corresponde a recibir medicación innecesaria, seguidos de inseguridad cuantitativa (2,94 %) e inseguridad cuantitativa (1,96%).

Palabras Clave: Atención Farmacéutica, Problemas Relacionados a Medicamentos, Interacciones Medicamentosas, Hospitalización.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the use of nonsteroidal anti-inflammatory drugs in the hospitalization service of the Andino General Hospital from January 2017 through July 2018. For which, a retrospective analysis of 204 medical records was carried out. Mainly, drug interactions presented, the concordance of the treatment with the therapeutic protocols approved by the Ministry of Public Health 2012, and the existence of possible drug-related problems (DRPs) were mainly

analyzed. The study population ranged in age from 54 to 81 years. As results, 286 prescriptions of NSAIDs were identified, with a majority use of Paracetamol (56.64%), Ketorolac (26.92%), Ibuprofen (10.14%), Diclofenac (5.94%) and Acetylsalicylic Acid (0.35%). Seven drug interactions involving diclofenac and ibuprofen were also detected. 54.41% of the treatments were not consistent with the national therapeutic protocols described by the MSP. 124 cases of DRPs were found, of which 55.58% correspond to receiving necessary medication, followed by quantitative insecurity (2.94%) and quantitative insecurity (1.96%).

Keywords: *Pharmaceutical Care, Drug Related Problems, Drug Interactions, Hospitalization.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de medicamentos es un tema de gran interés, no sólo para la Administración y los profesionales sanitarios, sino también para los propios consumidores. Los estudios de utilización de medicamentos son fundamentales para detectar, analizar e intentar solucionar los problemas derivados de la falta de coincidencia entre los intereses públicos y privados, del funcionamiento insatisfactorio del sistema sanitario, de la carga económica que supone la prestación farmacéutica, así como de una oferta excesiva e inadecuada de fármacos y de un consumo abusivo e incorrecto de los mismos(1).

Los antiinflamatorios no esteroides (AINE) son fármacos de gran interés clínico y elevado consumo, al ser de primera elección en el tratamiento de afecciones reumáticas con un importante componente inflamatorio y algico, siendo también eficaces en procesos dolorosos de diferente intensidad y menor sintomatología flogística, sin olvidar su poder antitérmico. (1), Por otro lado, se calcula que un aproximado de 30 millones de personas en el mundo se administran antiinflamatorios diariamente para mejorar su estado de salud (2)

El mercado farmacéutico ecuatoriano, informo que se conoce que más de las tres cuartas partes de las ventas de AINEs corresponden a ocho productos, que son: Arcoxia (etoricoxib), Mobic (meloxicam), Mesulid (nimesulida), Celebrex (celecoxib), Voltaren (diclofenaco), Prexige (lumiracoxib), Naproxeno sódico (apronax), y Motrin (ibuprofeno), considerándose uno de los grupos farmacológicos de venta libre con mayor demanda en el país(3).

Otra de las problemáticas que se encuentra latente es la prescripción de AINEs que conlleva en ocasiones un dilema para los médicos, puesto que a pesar de que son muy útiles en

unagran variedad de patologías, su eficacia viene generalmente acompañada por un conjuntode reacciones adversas muy importantes, tales como dispepsia, úlceras gástricas y duodenales con perforación y sangrado gástrico (4)

Por tal razón se indica que el uso, ya sea a través de la prescripción médica o por automedicación, debe ser lo más sensata posible por el profesional médico. De hecho, se reporta que los AINES son el grupo de medicamentos que más se utilizan a través de automedicación, por ende, expone a la población a las lesiones gástricas antes descritas, y otros trastornos como síndromes nefríticos, o dificultad para realizar el diagnóstico certero de cefalea crónica, y, por ende, no intervenir con el tratamiento más adecuado (5).

En nuestro país no se describen datos específicos y actuales sobre el consumo de AINEs en hospitales y los factores que conllevan a un posible uso inadecuado(6). Por lo que la información obtenida permite determinar las razones para el consumo de antiinflamatorios y su prevalencia, con el propósito de tener una idea de la situación actual respecto a los pacientes hospitalizados, tanto para investigaciones futuras como para generar conciencia y que se puedan implementar acciones dirigidas para mejorar su calidad de vida(7).

El objetivo fue evaluar el uso racional de antiinflamatorios no esteroideos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino en el periodo enero 2017- julio 2018, mediante la revisión sistemática de historias clínicas de los pacientes hospitalizados que fueron prescritos, con el propósito de valorar la información relevante de las reacciones adversas a medicamentos administrados, que servirá además como aporte para el sector de salud, y para precisar estrategias dirigidas a la Farmacovigilancia a nivel local, provincial y



nacional, y motivar a los profesionales de la salud de las diferentes unidades hospitalarias, en las notificaciones e intervenciones tempranas que permitan mejorarla calidad de vida del paciente y al mismo tiempo reducir las tasas de morbilidad en nuestro país.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue un estudio de tipo no experimental, descriptivo, transversal y retrospectivo.

Población

El estudio estuvo constituido por 740 historias clínicas que recibieron terapia de antiinflamatorios en pacientes atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo, en el período enero 2017- julio 2018.

Muestra

La muestra de estudio estuvo conformada por 204 historias clínicas de los pacientes que recibieron AINEs como parte de su tratamiento farmacológico durante su estancia en las áreas de medicina interna, cirugía y ginecología del Hospital General Andino de Chimborazo, considerando los siguientes criterios.

Criterios de inclusión

- Historias clínicas de pacientes hospitalizados en el área de Ginecología, Cirugía y Medicina interna del Hospital General Andino.
- Historias clínicas de pacientes hospitalizados administrados con antiinflamatorios no esteroideos.

Criterios de exclusión

- Historias clínicas de pacientes hospitalizados que no se les administró antiinflamatorios no esteroideos.
- Historias clínicas de mujeres con labor de parto normal.
- Historias clínicas de pacientes hospitalizados en el área de pediatría, UCI y cuidados paliativos.

Material de estudio

Historias clínicas físicas y digitales obtenidas del área de estadística del Hospital General Andino

de Chimborazo, correspondientes a los pacientes que conformaron la muestra de estudio.

III. RESULTADOS

A. Datos básicos de la población

A continuación, se describen los principales datos demográficos de los pacientes, recopilados en las historias clínicas:

1) Caracterización por Género de los pacientes con prescripción de AINEs.

Género	Frecuencia	Porcentaje (%)
Femenino	120	58,82
Masculino	84	41,18
Total	204	100

Tabla 1. Caracterización por sexo de los pacientes con prescripción de AINEs atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

2) Caracterización por Edad de los pacientes administrados con AINEs.

Grupos Etarios(años)	Frecuencia	Porcentaje %
24-38	35	17,16
39-53	20	9,80
54-66	47	23,04
67-81	67	32,84
82-97	35	17,16
Total	204	100

Tabla 2. Caracterización por edad de los pacientes administrados con AINEs atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

3) Áreas de hospitalización de los pacientes administrados con AINEs.

Áreas de hospitalización	Frecuencia	Porcentaje%
Medicina interna	122	59,80
Cirugía	75	36,76
Ginecología	7	3,43
Total	204	100

Tabla 3. Áreas de hospitalización de los pacientes administrados con AINEs atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

Número de AINEs prescritos por área	Medicina Interna	Cirugía	Ginecología
Paracetamol	112	46	4
Ketorolaco	25	49	3
Ibuprofeno	7	22	
Diclofenaco	3	13	1
Ácido acetilsalicílico	1		
Total	148	130	8

Tabla 4. AINEs prescritos por área en los pacientes atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

A. Análisis del uso de AINEs

A continuación, se presenta el uso de AINEs según lo recopilado en las historias clínicas, así como la evaluación de la concordancia de las prescripciones con los Protocolos Terapéuticos Nacionales, y los PRMs identificados.

1) Frecuencia de prescripciones de AINEs.

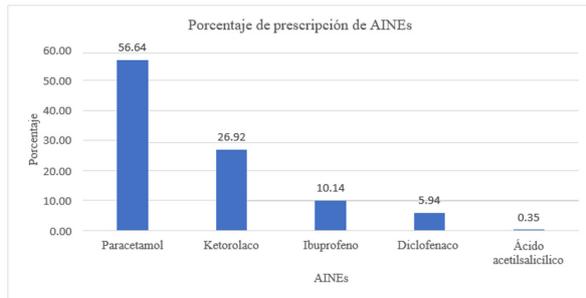


Figura 1. Frecuencia de prescripción de AINEs en los pacientes atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

2) Cantidad de AINEs que conformaban el tratamiento por paciente.

Cantidad de AINEs prescritos por tratamiento	Frecuencia	Porcentaje (%)
Al menos uno	204	100,00
Dos en conjunto	74	36,27
Tres simultáneamente	8	3,92

Tabla 5. Cantidad de AINEs que conformaban el tratamiento por paciente en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

3) Interacciones medicamentosas con AINEs.

Frecuencia	Interacciones medicamentosas	Efecto
2	Ibuprofeno + Enoxaparina	Aumenta acción anticoagulante
2	Diclofenaco + Valsartán + Hidroclorotiazida	Reduce el efecto antihipertensivo
2	Diclofenaco + Metotrexato	Aumenta concentración de metotrexato
1	Ibuprofeno + Metotrexato	Aumenta concentración de metotrexato
AINEs que provocan interacciones		Casos
Diclofenaco		4
Ibuprofeno		3
Total		7 (Interacciones)

Tabla 6. Interacciones medicamentosas con AINEs en los pacientes atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

4) Concordancia con protocolos terapéuticos del MSP respecto al uso de AINEs.

La relación entre los tratamientos prescritos según las patologías y lo determinado en los Protocolos Terapéuticos Nacionales, fue analizada para cada uno de los pacientes cuyas historias clínicas conformaron la muestra de estudio, presentándose:

Cumplimiento de los protocolos del MSP	Frecuencia	Porcentaje (%)
No	111	54,41
Si	15	7,35
No se encuentra protocolo	78	38,24
Total	204	100

Tabla 7. Concordancia con los protocolos terapéuticos del MSP respecto al uso de AINEs en los pacientes atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

5) Tipos de PRM encontrados respecto al uso de AINEs.

La identificación de PRMs que formaban parte de las prescripciones registradas para los pacientes cuyas historias clínicas fueron evaluadas, fueron:

Tipos de PRM encontrados	Frecuencia	% (respecto apacientes)
PRM 1	0	0,00
PRM 2	114	55,88
PRM 3	0	0,00
PRM 4	0	0,00
PRM 5	4	1,96
PRM 6	6	2,94
TOTAL	124	

Tabla 8. Tipos de PRM encontrados respecto al uso de AINEs en los pacientes atendidos en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino de Chimborazo (enero 2017 - julio 2018).

IV. DISCUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos, en la tabla 1, se puede observar los resultados de las historias clínicas analizadas, evidenciándose que el 58,82% pertenecen al género femenino, y 41,18 % al género masculino, resultados que coinciden con un estudio realizado en España por Ballina(8), demuestra que las mujeres consumen un mayor porcentaje de antiinflamatorios que los hombres(8), lo cual corrobora también los datos obtenidos en la investigación. Otro estudio realizado por López (9), sobre el consumo de



AINEs en el Hospital del IESS de Ambato, se observa que la prescripción de este grupo es mayor en el género femenino (62%), al tener más prevalencia las enfermedades inflamatorias(9).

Posterior de haber recopilado la edad de cada paciente a partir de las historias clínicas, los datos fueron agrupados en cinco rangos etarios, que se presentan en la tabla 2. La edad del paciente es importante al momento de evaluar los riesgos a los que se exponen cuando se administra o prescribe una terapia medicamentosa (10). Analizando los datos se evidencia que la mayor parte de la población se encuentra entre los 67 a 81 años correspondiendo al 32,84%, seguido de los 54 a 66 años con el 23,04 %, y con una cantidad menor de pacientes que se encuentran entre 82 a 97 años que corresponde al 17,16%. Según estos porcentajes la población mayoritaria que se atiende en el Hospital General Andino de Chimborazo y a quienes se administra mayor cantidad los AINEs pertenece al grupo de los adultos mayores, esto se debe por sus características fisiológicas y anatómicas a desarrollar eventos adversos relacionados con el consumo de AINEs (11).

Como se evidencia en la tabla 3, el 59,80% fueron atendidos en el área de medicina interna. Por ello se han encontrado una diversidad de patologías, y de esta manera se ve la necesidad de aplicar una correcta terapia analgésica. En la tabla 4, se presenta el número de prescripciones de AINEs realizadas por área, cifras que indican que el Paracetamol se consume en un alto porcentaje en el área de medicina interna, el Ketorolaco es usado en el área de cirugía, seguido del Ibuprofeno y diclofenaco, mientras que en el área de ginecología se observa un consumo mínimo de AINEs (12). Estos resultados son opuestos al estudio realizado por Osorio(13) , en una población hospitalaria de Bogotá-Colombia, puesto que se concluye que cerca de un 30% de los pacientes atendidos en Medicina Interna consumen AINEs (13).

De acuerdo al análisis del uso de AINEs, se puede observar en la figura 1, que el 56,64% de Paracetamol, 26,91% Ketorolaco, 10,14 % Ibuprofeno y 5,94% diclofenaco, reflejando que la prescripción del ácido acetilsalicílico en el área de hospitalización tiene una frecuencia muy baja, todos los medicamentos indicados forman parte del Cuadro Nacional de Medicamentos Básicos del Ecuador (14). Estos resultados coinciden en

un estudio de pacientes con artritis realizado por Arévalo (12), en el Hospital del IESS Riobamba, se evidencia que el paracetamol es el más prescrito, seguido de Naproxeno e Ibuprofeno(15) .

La cantidad de medicamento prescrito por paciente es un parámetro muy importante para determinar el riesgo de eventos adversos relacionados con medicamentos (RAM) porque es bien sabido que cuantos más medicamentos estén involucrados, mayor será el riesgo de que se produzcan interacciones medicamentosas(16), especialmente si la dosis no se especifica correctamente. Como puede verse en la tabla 5, todos los pacientes recibieron al menos un fármaco antiinflamatorio, sin embargo, también hubo casos de pacientes que tomaban dos o más (36,27%) o incluso tres (3,92%) AINEs. Según la escala de dolor recomendada por la Organización Mundial de la Salud, los AINEs pueden encontrar sinergia aumentando o disminuyendo la dosis nominal de cada fármaco corroborando los hallazgos en los porcentajes descritos (17).

Según los datos resumidos en la tabla 6, la frecuencia de interacciones medicamentosas asociadas al uso de AINEs es baja, ya que solo se identificaron 7 casos, de los cuales 4 fueron diclofenaco y 3 ibuprofeno(18). El Comité de Medicamentos de la Academia Española de Pediatría informó que la enoxaparina, una heparina de bajo peso molecular, suele estar relacionada farmacológicamente con los AINE, por lo que, si las concentraciones plasmáticas de anticoagulantes se mantienen elevadas, aumenta el riesgo de hemorragia (14), además es una interacción de clase C, es decir, el paciente debe ser monitoreado si se necesita una correlación.

Al analizarse la concordancia de los tratamientos prescritos en el grupo de pacientes estudiados con los Protocolos Terapéuticos Nacionales del MSP, efectivo para todo el sistema nacional de salud en el Ecuador, el 54,41% no involucra un proceso establecido y solo el 7,35% lo cumple. En los casos restantes (38,24 %), no se utilizó la metodología probada por el protocolo nacional (15)(19). Por lo tanto, el Hospital General Chimborazo Andes necesitaba llegar a un consenso porque no se mencionó el plan nacional de tratamiento desarrollado por el MSP(20).

La identificación de los PRM en general fue el principal objetivo de esta investigación. Como puede apreciarse en la tabla 8, no se encontraron

todos los tipos de PRM. En total se hallaron 124 casos, siempre desde la definición de PRM como eventos que tienen la probabilidad de ser causantes de los resultados negativos asociados a la medicación (RNM) (21), tratarse de un estudio retrospectivo, con limitada información en las historias clínicas y sin la posibilidad de realizar un seguimiento personal al paciente, no se estableció correctamente los problemas relacionados con los medicamentos(22).

Sin embargo, se puede deducir que existe un riesgo de presentar un PRM 2 del 55,58%, al existir una medicación innecesaria hacia los pacientes. Mientras que el 1,96% de los casos fue PRM 5(23), es decir, una inseguridad no cuantitativa, por lo tanto, la presencia de RAM, al estar presente un medicamento contraindicado de acuerdo a las características del paciente y un 2,94% de los casos fueron clasificados como PRM 6, que corresponde a una inseguridad cuantitativa(24), a esta categoría pertenecen los casos de interacciones medicamentosas antes mencionadas, estos resultados analizados, no concuerdan con los encontrados en un estudio realizado por Arévalo (12), en el Hospital del IESS Riobamba, ya que se obtuvo en mayor porcentaje el PRM 3 (inefectividad no cuantitativa), seguido del PRM 5 (inseguridad no cuantitativa). Finalmente es importante mencionar que esta diferencia se da porque se trataba de un estudio de seguimiento farmacoterapéutico prospectivo en el que realizó un análisis profundo por cada paciente (25).

V. CONCLUSIONES

- Se encontró que de las 204 prescripciones de antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) realizadas en el servicio de hospitalización del Hospital General Andino el 56,64% corresponde al paracetamol, 26,92 % ketorolaco, 10,14% ibuprofeno, 5,94% diclofenaco, y 0,35% al ácido acetilsalicílico. El 36,27% de pacientes recibieron al menos dos AINEs y un 3,92% tres AINEs. Estos resultados son de mucha importancia para el correcto manejo del stock de AINEs en la farmacia del hospital, así como para la estimación del riesgo que conlleva el uso de este tipo de medicamentos.
- Se identificaron siete casos de interacciones medicamentosas relacionados a AINEs,

cuatro de ellos corresponden al diclofenaco, y tres al ibuprofeno. Con estos resultados se comprende que se debe llevar a cabo una apropiada evaluación e intervención farmacéutica dirigida a la detección oportuna de PRMs, y RNMs.

- Se analizó según los datos obtenidos que en un 54,41% de los casos, no existió correspondencia entre el tratamiento prescrito y lo recomendado en los Protocolos Terapéuticos Nacionales del Ministerio de Salud Pública 2012, por lo tanto, no se puede confirmar que se estén aplicando tratamientos terapéuticos basados en evidencia científica, obteniéndose así un incumplimiento de las metas terapéuticas.
- Se detallaron 124 casos de Problemas Relacionados a Medicamentos siendo el 55,58 % debido a que los pacientes recibían medicación que no se necesitaba, 2,94% relacionados a la inseguridad cuantitativa, y el 1,96% debido a la inseguridad no cuantitativa.
- Se encontró que el 58,82% de las historias clínicas analizadas correspondían pacientes femeninos, y el 41,18% a pacientes masculinos, encontrándose esta diferencia debido a que en las mujeres existe una mayor prevalencia de enfermedades inflamatorias, y por lo tanto están más expuestas a los riesgos asociados al uso de AINEs; analizando el grupo etario la mayor cantidad se encontraban entre edades de 54 a 81 años, debido a la mayor susceptibilidad de sufrir trastornos de salud caracterizados por procesos inflamatorio que pertenecían al área de medicina interna, ya que en mayor medida se atienden casos de enfermedades infecciosas y degenerativas.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Hospital General Andino de Chimborazo por la apertura para el desarrollo de investigación, la colaboración de la Dra. Verónica Cando miembro del Grupo de Investigación de Tecnología Farmacéutica y Atención Farmacéutica del Ecuador- "GITAFEC"; Dra. Sandra Escobar miembro del Grupo de Investigación de Leishmaniosis y otras parasitosis del Ecuador - "LEISHPAREC", a los estudiantes de la carrera de Bioquímica y Farmacia al Sr. Kleber Tene y la Srta. Laura Hernández y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



VI. REFERENCIAS

1. Lanas A, Benito P, Alonso J, Hernández-Cruz B, Barón-Esquivias G, Perez-Aísa Á, et al. Safe Prescription Recommendations for Non Steroidal Anti-inflammatory Drugs: Consensus Document Elaborated by Nominated Experts of Three Scientific Associations (SER-SEC-AEG). *Reumatología Clínica (English Edition)*. 2014 mar;10(2):68-84.
2. Moral EG, Moral EG, Barroso AV, Hernández JG, Herrero JV, Gracia LJ de. Prescripción de medicamentos. *FMC*. 2015 mar;22(3):9-32.
3. MASACHE C. "Análisis estratégico sobre el consumo y comercialización de medicamentos antiinflamatorios No Esteroidales genéricos y de marca en el distrito metropolitano de Quito". [Quito]: ESPE; 2016.
4. García-Muñío R, Satústegui-Dordá PJ, Tejedor-Hernández L. Interacciones farmacológicas potenciales en población mayor de 64 años atendida en Atención Primaria. *Medicina de Familia SEMERGEN*. 2020 may;46(4):254-60.
5. Lossada A, Oteo-Álvaro Á, Giménez S, Oyagüez I, Rejas J. Análisis coste-efectividad de celecoxib frente a antiinflamatorios no esteroideos no selectivos en el tratamiento de la artrosis en España: una perspectiva actual. *SEMERGEN - Medicina de Familia*. 2016 may;42(4):235-43.
6. Cousein E, Mareville J, Lerooy A, Caillau A, Labreuche J, Dambre D, et al. Effect of automated drug distribution systems on medication error rates in a short-stay geriatric unit. *J Eval Clin Pract*. 2014 oct 11;20(5):678-84.
7. Ruiz de Velasco Artaza E, Baza Bueno M, Fernández Uría J, Gorroñoigoitia Iturbe A. Intervention for proton pump inhibitors deprescribing by sending a letter (PPI-letter). *Aten Primaria*. 2022 ene 1;54(1).
8. Ballina J, Carmona L. Impacto del consumo de AINE en la población general española. Resultados del estudio EPISER. *Revista Española de Reumatología [Internet]*. 2016 [citado 2023 ene 30]; Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-reumatologia-29-pdf-13036642>
9. López E. Análisis del uso de antiinflamatorios no esteroideos no incluidos en el cuadro nacional de medicamentos básicos del Ecuador, en el área de emergencias del hospital IESS Ambato, período abril - junio de 2015 [Internet]. 2015 [citado 2023 ene 30]. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4631>
10. Soler-Pérez MA, Serrano-Córcoles M del C, Ferrer-Márquez M, López-González M del M, Pérez-Sáez MÁ, García-Torrecillas JM. Evaluación del tratamiento con infiltraciones intraarticulares en la patología osteoarticular del hombro en atención primaria. *Aten Primaria*. 2021 ago;53(7):102051.
11. O'Brien JT, Holmes C, Jones M, Jones R, Livingston G, McKeith I, et al. Clinical practice with anti-dementia drugs: A revised (third) consensus statement from the British Association for Psychopharmacology. *Journal of Psychopharmacology*. 2017 feb 20;31(2):147-68.
12. Kanabar DJ. A clinical and safety review of paracetamol and ibuprofen in children. *Inflammopharmacology*. 2017 feb 6;25(1):1-9.
13. Osorio Á, Regino WO, Zuleta MG. Utilización de AINES y uso de IBP profilácticos en pacientes de medicina interna [Internet]. 2014 [citado 2023 ene 30]. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337731614006>
14. Cuadro Nacional de Medicamentos Básico CNMB [Internet]. 2014 [citado 2023 ene 30]. Available from: <https://www.salud.gob.ec/cuadro-nacional-de-medicamentos-basico-cnmb/>
15. Arévalo A. Implementación de un programa de seguimiento farmacoterapéutico, dirigido a pacientes con artritis reumatoide del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, IESS Riobamba [Internet]. 2013 [citado 2023 ene 30]. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2620>
16. Abajo FJ, García del Pozo J, del Pino A. Evolución de la utilización de antiinflamatorios no esteroideos en España desde 1990 hasta 2003. *Aten Primaria*. 2005 nov;36(8):424-33.
17. Watelet J, Laurent V, Bressenot A, Bronowicki JP, Larrey D, Peyrin-Biroulet L. Toxicity of chronic paracetamol ingestion. *Aliment Pharmacol Ther*. 2007 sep 4;26(11-12):1543-4.

18. Medina-Vera AJ, Novoa LM. Disminución de los requerimientos anestésicos y analgésicos postoperatorios, en pacientes sometidos a colecistectomía laparoscópica: premedicación con paracetamol versus ketorolaco intravenoso, un estudio aleatorizado y doble ciego. *Rev Esp Anestesiol Reanim.* 2017 feb;64(2):64-70.
19. Lanas A, Benito P, Alonso J, Hernández-Cruz B, Barón-Esquivias G, Perez-Aísa Á, et al. Recomendaciones para una prescripción segura de antiinflamatorios no esteroideos: documento de consenso elaborado por expertos nominados por 3 sociedades científicas (SER-SEC-AEG). *Gastroenterol Hepatol.* 2014 mar;37(3):107-27.
20. Ministerio de Salud Pública (MSP) del Ecuador [Internet]. *Protocolos Terapéuticos.* 2012 [citado 2023 ene 30]. Available from: <https://medes.com/publication/6331:337%E2%80%9342>
21. Almarsdóttir AB, Traulsen JM. Rational use of medicines – an important issue in pharmaceutical policy. *Pharmacy World & Science.* 2005 abr;27(2):76-80.
22. Puebla F. Tipos de dolor y escala terapéutica de la O.M.S. Dolor iatrogénico. *Scielo [Internet].* 2005 [citado 2023 ene 30]; Available from: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0378-48352005000300006&script=sci_arttext&tIng=pt
23. Rivera Díaz R, Lopera Rivera A. Manejo del dolor no obstétrico durante el embarazo. Artículo de revisión. *Revista Colombiana de Anestesiología.* 2012 ago;40(3):213-23.
24. Souta MM, Telles Filho PCP, Vedana KGG, Pedrão LJ, Miaso AI. MEDICATION SYSTEM: ANALYSIS OF ACTIONS TAKEN BY PROFESSIONALS IN PSYCHIATRIC UNITS. *Texto & Contexto - Enfermagem.* 2016;25(4).
25. Comité de Medicamentos de la Asociación Española de Pediatría [Internet]. Enoxaparina. 2020 [citado 2023 ene 30]. Available from: <https://www.aeped.es/comite-medicamentos/pediamecum/enoxaparina>.

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE BIOMASA POR MEDIO DE FERMENTACIÓN OSCURA: UNA REVISIÓN

Hydrogen production from biomass by means of dark fermentation: a review

 Orlando Castiblanco Urrego*
 David Stiven Guerrero Escárraga

Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Bogotá, Colombia.

*orlando.castiblanco@profesores.uamerica.edu.co

RESUMEN

El hidrógeno es un vector energético y una materia prima industrial que se puede obtener por diferentes métodos, entre los que se tiene la fermentación oscura, y a partir de diferentes fuentes de biomasa, donde las condiciones y el rendimiento se ven afectados por el pH, el inóculo, el sustrato, los nutrientes, la temperatura y el tipo de reactor. Los géneros bacterianos *Enterobacter*, *Bacillus* y *Clostridium*, dadas sus características fisicoquímicas, generan unos rendimientos aproximadamente de 2 mol H₂/mol glucosa. El artículo destaca que este proceso presenta ventajas significativas, como la utilización de materias primas renovables y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los métodos tradicionales basados en combustibles fósiles. Además, se destaca la importancia del rol del ingeniero químico de cara a mejorar la eficiencia y la estabilidad del proceso, a superar los desafíos técnicos y a mitigar los efectos adversos sobre el medio ambiente.

Palabras Clave: *Hidrógeno, fermentación oscura, medio ambiente, biomasa y energía.*

ABSTRACT

Hydrogen is an energy carrier and an industrial raw material that can be obtained through various methods, among which dark fermentation is included, and from different biomass sources, where conditions and yield are influenced by pH, inoculum, substrate, nutrients, temperature, and reactor type. The *Enterobacter*, *Bacillus* and *Clostridium* bacterial genera, given their physicochemical characteristics, yield approximately 2 mol H₂/mol glucose. The article highlights that this process offers significant advantages, such as the use of renewable raw materials and the reduction of greenhouse gas emissions compared to traditional methods based on fossil fuels. Furthermore, the importance of the role of the chemical engineer is emphasized in enhancing process efficiency and stability, overcoming technical challenges, and mitigating adverse effects on the environment.

Keywords: *Hydrogen, dark fermentation, environment, biomass and energy.*

I. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento poblacional, cada vez se requiere más energía para suplir todas las actividades diarias de la sociedad como transporte, industria, actividad doméstica, entre otros. Por tal razón, se han venido realizando muchas investigaciones sobre cómo hacer una transición energética segura y eficaz, ya que el uso de combustibles fósiles genera gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen a exacerbar los efectos del cambio climático. Una de las soluciones más atractivas es la producción de bio-hidrógeno como combustible a partir de biomasa en reemplazo de los derivados del petróleo y principalmente del gas natural, ya que su composición está libre de carbono (1, 2).

Con relación a lo anterior, el mundo se ha fijado la meta de ser carbono neutral a más tardar en el 2050 (3), y gracias a esto se ve una oportunidad muy grande en la producción de hidrógeno para hacer la tan anhelada transición energética y ponerle un alto al avance del cambio climático (4). En el aspecto económico, se sabe que el costo del hidrógeno como portador de energía no contaminante será más estable y rentable que cualquier otra fuente (5).

Hoy en día el gas de hidrógeno se obtiene en promedio un 40% a partir de gas natural, 30% del petróleo, 18% del carbón, 4% por electrolisis y 1% a partir de biomasa (6).

El hidrógeno se puede obtener a partir de múltiples vías, como el reformado de hidrocarburos, que es un proceso termoquímico y actualmente es el método más utilizado para la producción de hidrógeno. También se tiene la electrolisis de agua, que es un proceso electroquímico que disocia la molécula del agua en sus dos componentes, hidrógeno y oxígeno; la gasificación del carbón, un proceso donde se realiza una oxidación parcial que genera una mezcla de gases, mayoritariamente monóxido de carbono e hidrógeno; la termólisis del agua, que consta de la descomposición de agua por medios térmicos mediante un proceso por ciclos a una temperatura aproximada de 1000 K; procesos fotoquímicos, donde la producción de hidrógeno se efectúa por la disociación del agua por medio de radiación solar usando foto catalizadores químicos; la biofotólisis del agua, que consiste en aprovechar la luz para disociar la molécula del

agua; reformado de etanol y azúcares, y también por medio de fermentación oscura a partir de biomasa (7,8).

La obtención de hidrógeno por medio de fermentación oscura a partir de diversas fuentes de biomasa se da principalmente por bacterias aerobias y anaerobias facultativas del género *Clostridium* formadoras de esporas, facultativas de los géneros *Enterobacter* y *Bacillus* (9), algunas bacterias termofílicas (10) y acidogénicas anaerobias provenientes de lodos (11). Aquí los monosacáridos son la principal fuente de carbono, donde se destaca particularmente la glucosa, seguido de la xilosa, el almidón, la celulosa y otras fuentes que pueden ser generadas a partir de hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos, y por esta vía se da la reacción de biotransformación (12).

Por otro lado, con el creciente consumo mundial de energía, se estima que en el año 2050, para abastecer los vehículos de energía, se necesitarán 110 millones de toneladas de hidrógeno (13); ya que, las aplicaciones más comunes del hidrógeno se encuentran en la industria del transporte terrestre, como combustible de autos y camiones; también, en la industria aeroespacial, la producción de electricidad, la síntesis de amoníaco y fertilizantes, la refinación de metales y el calentamiento (14).

II. METODOLOGÍA

En esta revisión, se pretende presentar una visión completa sobre el biohidrógeno desde la perspectiva general del hidrógeno como materia prima y como vector energético, considerando las diferentes tecnologías de producción y profundizando en la fermentación oscura como una forma viable de producirlo. Varios estudios han presentado la biomasa como una materia prima para obtener hidrógeno; sin embargo, a lo largo de este estudio de revisión, se presenta de manera descriptiva la fermentación oscura, sus características y las variables de proceso más relevantes; por lo tanto, se hace necesario conocer los diferentes tipos de biomasa que pueden utilizarse, así como los microorganismos más adecuados para realizar un proceso sostenible debido a la alta capacidad de producción de H₂, combinada con la obtención de otros



subproductos de alto interés y valor comercial. Por último, se revisa brevemente el impacto ambiental asociado con el uso de las diferentes tecnologías relacionadas con la producción de hidrógeno, en contraste con la fermentación oscura, y el papel de la ingeniería química y su contribución al establecimiento de la economía del hidrógeno.

Para la realización de este trabajo se recurrió a una búsqueda exhaustiva en Internet, por medio de diversas bases de datos como Scopus, Google Scholar y Researchgate, haciendo una clasificación según el número de citas. La mayoría de las fuentes corresponden a artículos científicos publicados en los últimos diez años, sin dejar de tener en cuenta documentos de años anteriores de gran importancia que fueron referencia para investigaciones posteriores. A continuación, se organizó la información relacionada con la obtención de hidrógeno a partir de biomasa por medio de fermentación oscura, cuyas palabras claves conformaron la ecuación de búsqueda para la realización del análisis bibliométrico.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Métodos de obtención de hidrógeno

- *Reformado de metano*

El reformado de metano con vapor es un proceso utilizado a lo largo de varias décadas y es una de las tecnologías más económicas que se utiliza en la actualidad en la producción industrial de H₂ (15). La reacción se efectúa a 870 °C sobre un catalizador de níquel empacado en los tubos de un horno de reformación produciendo CO y H₂, después el CO producido reacciona con vapor de agua para formar hidrógeno adicional en la reacción de desplazamiento con agua. Este método tiene otras variantes como el reformado en seco, el reformado autotérmico, entre otros (7).

- *Electrólisis de agua*

Cuando los volúmenes de hidrógeno no son elevados, el hidrógeno se obtiene por electrólisis. La reacción electrolítica se suele realizar en medio alcalino, debido a que en estas condiciones se incrementa la conductividad eléctrica. El hidrógeno producido en el cátodo se debe purificar, ya que contiene impurezas de oxígeno y un cierto nivel de humedad. La purificación se

realiza por medio de secado con un adsorbente, y las impurezas de oxígeno se eliminan con un convertidor DeOx (16).

En la electrólisis, una corriente eléctrica divide el agua en hidrógeno y oxígeno, se utiliza 4,9 - 5,6 kWh por cada m³ de hidrógeno producido, lo que resulta al menos dos veces más costoso que el hidrógeno obtenido por reformado de gas natural (17). También se tiene la electrólisis de membrana polimérica protónica (PEM, por sus siglas en inglés), que consiste en utilizar una membrana de intercambio de protones y un electrolito polimérico sólido (18).

- *Reformado de líquidos renovables*

Los combustibles líquidos renovables, como el etanol, pueden reaccionar con vapor a altas temperaturas (2). Entre los líquidos de carácter renovable más utilizados actualmente destacan, el bioetanol principalmente, el biodiesel y el glicerol. El bioetanol se presenta como la principal alternativa al CH₄ como fuente de hidrógeno debido a las grandes cantidades que se producen y a la existencia de excedentes disponibles en algunos países, en comparación con el resto de biocombustibles (19).

- *Pirólisis*

Proceso termoquímico que ocurre en ausencia de oxígeno. Consiste en la dosificación y alimentación de materia prima a un reactor (combustibles, madera, carbón vegetal, carbón, biomasa, etc.), la transformación de la materia orgánica; y finalmente, la obtención y separación de los productos obtenidos como hidrógeno, metano y otros. Algunas variantes del proceso son la pirólisis acuosa, anhidra y al vacío (20, 21).

- *Fotofermentación*

La fotofermentación es un proceso de transformación de materia orgánica en hidrógeno, empleando la luz solar como catalizador del metabolismo (22). Los microorganismos responsables son principalmente bacterias púrpuras de los géneros *Rhodospseudomonas* y *Rhodobacter*, organismos heterótrofos que precisan de una fuente de carbono como fuente de electrones (23).

- *Biofotólisis del agua*

Proceso biológico de producción de hidrógeno a partir de la hidrólisis del agua por fotosíntesis,

empleando luz solar como catalizador de la reacción. Consiste en la ruptura del agua en oxígeno y protones, llevada a cabo por microorganismos fotosintéticos como cianobacterias (24,25).

- *Celda de electrólisis microbiana*

La celda de electrólisis microbiana es un sistema que utiliza la actividad de microorganismos electroactivos para convertir materia orgánica en electricidad o productos químicos como H₂. Es una tecnología en desarrollo con potencial para contribuir a la producción de energía renovable y el tratamiento sostenible de aguas residuales (26,27).

La fermentación oscura es otro método que puede emplearse para la producción de hidrógeno del cual se hablará a continuación. Los procesos de obtención de hidrógeno biológico exclusivamente se resumen en la Figura 1.

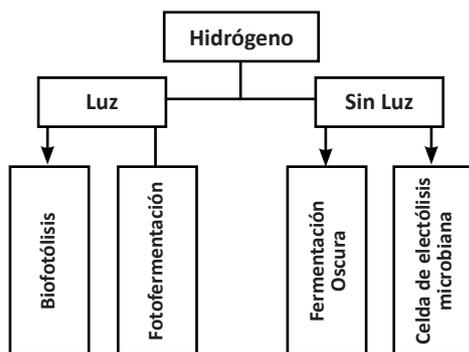


Figura 1. Obtención de hidrógeno biológico. Elaboración propia basada en (28).

B. La fermentación oscura como método de producción de biohidrógeno

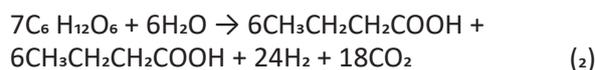
Mediante diversas investigaciones se ha llegado a producir hidrógeno por un método denominado fermentación oscura, que también suele llamarse fermentación de hidrógeno oscuro (29). Este método se lleva a cabo principalmente a partir de la degradación de carbohidratos (azúcares); usualmente, los monosacáridos son la principal fuente de carbono, donde se destaca la glucosa, el almidón, la celulosa, la xilosa y otras fuentes, lo que lo hace un método ventajoso respecto a otros, porque esta fuente es relativamente barata y tiene bajas demandas de energía (30). La fermentación oscura se caracteriza por ser un fenómeno omnipresente en condiciones anóxicas o anaeróbicas. Las bacterias utilizan la reducción

de protones a hidrógeno a través de hidrogenasa como medio para oxidar los transportadores reducidos durante la fermentación, lo cual permite que los transportadores se reciclen y mantengan la neutralidad eléctrica para que el sustrato pueda generar un suministro continuo de adenosín trifosfato (ATP) (31).

La producción de hidrógeno por este método es dada por bacterias anaeróbicas que crecen en oscuridad y usan sustratos ricos en carbohidratos. Los subproductos de la fermentación lo constituyen: ácido acético, con rendimiento de un máximo teórico de 4 mol H₂/mol glucosa (32); y ácido butírico, con un rendimiento de un máximo teórico de 3,4 mol H₂/mol glucosa. Con lo que los rendimientos prácticos de hidrógeno en la fermentación oscura están alrededor de 2 mol H₂/mol glucosa (33).

Diversos estudios han demostrado que el hidrógeno fermentativo se puede producir a través de cultivos microbianos acidogénicos mixtos o a través de cultivos definidos y puros de microorganismos productores (34).

Las principales reacciones son (35):



Respecto a las temperaturas más óptimas para producir hidrógeno por medio de la fermentación se tiene: desde mesófilas [25 - 40 °C]; hasta termófilas [40 - 65 °C] (10, 36); extremófilas [65 - 80 °C], e hipertermófilas [>80 °C] (34); produciéndose biogás con algunos elementos como H₂, CO₂, CO, H₂S y, en algunos casos muy raros, CH₄ (37).

Algunos resultados de investigaciones han llegado a conclusiones de que los microorganismos termófilos y, en particular los termófilos extremos y los hipertermófilos, son los más opcionados para producir hidrógeno a partir de biomasa, ya que el aumento de la temperatura mejora la cinética de reacción y por consiguiente mejora el rendimiento final del proceso (38, 39).

Los principales microorganismos termófilos que



se han estudiado incluyen *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* (40), *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*, *Thermotoganolitana* y *Thermotoga marítima* (41).

Las especies bacterianas más conocidas que producen hidrógeno por este sistema son los géneros *Enterobacter*, *Bacillus* y *Clostridium*, que generan buenos rendimientos (42, 43).

La producción de hidrógeno depende también de otros factores que afectan el rendimiento durante el proceso, como lo es el pH, que de acuerdo a diversos estudios su valor óptimo es de 5,5 (44); la presión parcial del gas, que no debe ser alta, ya que inhibe la producción de hidrógeno (45); inóculo, sustrato, tipo de reactor (46); nutrientes, como nitrógeno, fosfato, iones metálicos, y la temperatura (47). Estos factores se resumen en la Tabla 1.

Factor	Descripción
Inóculo	Género <i>Clostridium</i> y <i>Enterobacter</i>
pH cultivo	4,5 - 6,0
Sustrato	Glucosa, sacarosa, almidón y algunas veces residuos orgánicos.
Temperatura	De 15 hasta 85 °C, en rango mesofílico [25 - 40 °C], termofílico [40 - 65 °C], extremofílico [65 - 80 °C] e hipertermofílico [>80 °C].
Nutrientes	Nitrógeno, los fosfatos y algunos iones metálicos
Reactor	Reactor de tanque agitado

Tabla 1. Factores que afectan la producción de hidrógeno. Elaboración propia basada en (11, 42, 43, 44, 45, 46, 47).

Para maximizar la cantidad producida de hidrógeno, el metabolismo de la bacteria debe enfocarse hacia la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) (48).

C. Tipos de biomasa utilizada

Para la producción de hidrógeno se utilizan diferentes tipos de biomasa que contengan materiales ricos en carbohidratos o azúcares fermentables, y se requiere de condiciones específicas para maximizar la producción de hidrógeno. Diferentes cepas de microorganismos y diferentes fuentes de biomasa pueden requerir ajustes en las condiciones de fermentación para obtener un rendimiento óptimo de hidrógeno (49). Algunos ejemplos de biomasa utilizada para la fermentación biológica del hidrógeno incluyen: residuos de cultivos ricos en almidón,

como maíz, patatas, yuca, arroz, entre otros; residuos de procesamiento de alimentos, como residuos de la industria azucarera, residuos de panadería y almidones de residuos de la industria alimentaria; residuos de la industria papelera, como lignocelulosa, que puede ser tratada para liberar azúcares fermentables; y residuos orgánicos municipales, como residuos de alimentos y otros materiales orgánicos que contengan carbohidratos (50). A lo largo de varias investigaciones realizadas se han obtenido diferentes resultados respecto al uso de biomasa lignocelulósica (51). Lo anterior se presentan en la Tabla 2.

Biomasa	mol H ₂ /mol glucosa	Referencia
Miscanthus	3,3	(41)
Sorgo dulce bagazo	2,6	(52)
Caña de azúcar bagazo	1,7	(53)
Paja de trigo	2,6	(54)
Paja de arroz	0,8	(55)
Rastrojo de maíz	3,0	(56)
Pulpa de zanahoria	2,8	(57)
Fibras de madera	1,3	(58)
Lodos de papel	2,1	(59)

Tabla 2. Rendimiento de producción de hidrógeno de diversas biomásas. Elaboración propia.

D. Pretratamiento de la biomasa

El pretratamiento se realiza para romper la capa de lignina que protege la celulosa y la hemicelulosa, para que la biomasa sea más accesible a la digestión, también ayuda a disminuir la cristalinidad de la celulosa y aumentar la porosidad (60). El pretratamiento se puede clasificar en estos grupos principales:

- **Mecánicos (fresado y molienda):** En este pretratamiento físico, el tamaño de las partículas se reduce, lo que conduce a un aumento en el área superficial y el tamaño de poro, y a una disminución en la cristalinidad y grado de polimerización de la celulosa (60, 61).
- **Biológicos:** Se realiza por acción de microorganismos (bacterias y hongos) o de enzimas, obteniéndose mejoras en el rendimiento respecto a la biomasa sin pre tratar, desde 10% a más del 100% (60).

- **Químicos:** Incluye ácidos, álcalis, líquidos iónicos y compuestos oxidantes (62). Se tiene como función primaria remover la hemicelulosa y las ligninas presentes en la biomasa (60).
- **Fisicoquímicos:** Se rompen los enlaces de hidrógeno y se incrementa el área superficial a temperaturas entre 50 - 250 °C como resultado de una explosión de vapor o agua caliente (60, 63).
- **Hidrólisis enzimática:** Es un proceso catalítico donde participan diferentes enzimas, esto genera la ruptura de polímeros de celulosa y hemicelulosa para obtener monómeros como glucosa y xilosa (64, 65). Además, se producen azúcares que son directamente utilizados por todos los microorganismos vivos. Las enzimas más comunes son alfa y beta amilasa (66).

E. Reactor

El tipo de reactor más utilizado es el tipo Bath y son pocos los experimentos efectuados en régimen continuo, esto se debe probablemente a la simple operación y control en el primero (11). Algunos reactores utilizados (67, 68):

- Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB, por sus siglas en inglés) para tratamiento de aguas residuales, con un rendimiento de 2,45 mol H₂/mol glucosa.
- Reactor de Lecho Fluidizado Anaeróbico (FABR, por sus siglas en inglés) con un rendimiento de 1,01 mol H₂/g DQO.
- Reactor de Placa Plana (FPPBR, por sus siglas en inglés) con un rendimiento de 4,44 mol H₂/ mol glucosa.
- Reactor de Tanque Agitado Continuo (CSTR, por sus siglas en inglés) con un rendimiento de 1,32 ± 0,16 mol H₂/mol hexosa.
- Reactor de Lecho Fluidizado (FBR, por sus siglas en inglés), con un rendimiento de 1 mol H₂/mol xilosa.

La cinética de la reacción de fermentación oscura para producir hidrógeno es un proceso gradual y altamente dependiente de la actividad microbiana y está influenciada por varios factores, como la concentración de sustrato, la temperatura, el pH, la concentración de biomasa

microbiana y la disponibilidad de nutrientes (69).

F. Microorganismos utilizados

Como resultado de muchas investigaciones, se han obtenido resultados importantes acerca del uso de microorganismos capaces de producir hidrógeno molecular como producto metabólico durante su crecimiento. Estos microorganismos son conocidos como bacterias fototróficas o bacterias fermentativas (42, 43). En la Tabla 3 se presentan resultados respecto al rendimiento en la producción de hidrógeno.

Microorganismo	mol H ₂ /mol glucosa
<i>Enterobacter aerogenes</i>	1,1
<i>Enterobacter cloacae</i>	3,3
<i>Escherichia coli</i>	2,0
<i>Clostridium butyricum</i>	2,28
<i>Clostridium pasteurianum</i>	1,19
<i>Clostridium beijerinckii</i>	2,54
<i>Thermotoga neapolitana</i>	3,5
<i>Thermotoga marítima</i>	1,7
<i>Clostridium saccharoperbutylacetonicum</i>	2,5
<i>Thermotoga elfii</i>	3,3
<i>Clostridium acetobutylicum</i>	1,5
<i>Clostridium thermocellum</i>	1,67

Tabla 3. Rendimiento de producción de hidrógeno de algunos microorganismos. Elaboración propia basada en (70, 71).

La obtención de hidrógeno por medio de procesos fermentativos tiene ventajas en comparación con los procesos térmicos, como la gasificación y la termólisis del agua, ya que convierte la biomasa con alto contenido de humedad en hidrógeno; y además, no requieren grandes instalaciones, por lo que puede darse a pequeña escala, y con ello se puede producir hidrógeno todo el día, sin la necesidad de luz y con un consumo bajo de energía, lo que resulta muy rentable (29). Algunos géneros y especies de bacterias han sido muy estudiados y se ha referenciado, especialmente utilizando cultivos con cepas puras de microorganismos, con diferentes sustratos y a condiciones específicas. Por otro lado, también se ha podido aislar microflora de cultivos mixtos de diversas fuentes de desecho, que son menos sensibles a la contaminación de bacterias consumidoras de hidrógeno en comparación con los cultivos puros. Lo anterior se presenta en las Tablas 4 y 5.



Microorganismo	Sustrato	pH	T (°C)	Productividad H ₂ (ml/h)	Rendimiento H ₂ (mol H ₂ /mol sustrato)	Referencia
<i>Clostridium butyricum</i> CGS5	Sacarosa	5,5	37	163	2,78	(72)
<i>Clostridium pasteurianum</i>	Almidón	8	35	18	194 (ml/g)	(73)
<i>Clostridium sacharoperbutyl acetonicum</i>	Suero de leche	6	30	47,07	2,8	(74)
<i>Clostridium thermoceillum</i> 27405	Fibras de madera	6,9 - 7,1	-	-	1,6	(58)
<i>Clostridium bitiricum</i> , <i>enterobacter aerogenes</i> y <i>rodhocater sp M19</i>	Residuos de almidón de papa	7,5	35	-	7	(75)
<i>E. coli</i>	Glucosa	6,8	30	52	2,4	(76)
<i>E. coli</i>	Glucosa	-	37	-	2	(77)
<i>E. coli</i> MCI3-4	Glucosa	-	37	10	1,27	(78)
<i>Clostridium thermolacticum</i>	Medio comercial	7	37	-	0,0574 (mol/g)	(79)
<i>Clostridium acetobutylicum</i> ATCC824	Glucosa	-	30	27,2	0,9	(80)

Tabla 4. Procesos por lotes para fermentación oscura usando cultivos puros. Elaboración propia basada en (81).

Sustrato	pH	T (°C)	Productividad H ₂ (ml/h)	Rendimiento H ₂ (mol H ₂ /mol sustrato)	Referencia
Agua residual	7	55	365	-	(10)
Agua residual de procesadoras de alimentos	6	30	275	-	(82)
Glucosa	11,5	37	16,9	-	(83)
Glucosa	6	35	-	1,4	(84)
Glucosa	5,7	35	133,2	-	(85)
Cascarilla de arroz	4,5	37	87,5	-	(86)
Sacarosa	6,7	40	468	1,74	(87)
Sacarosa	6,3 - 8	35	-	5,64	(88)
Sacarosa y desecho de piña	7,5	34	745	2,46	(89)

Tabla 5. Procesos por lotes para fermentación oscura usando algunos cultivos mixtos. Elaboración propia basada en (81).

Otra investigación presenta los efectos del tiempo de retención de sólidos en la producción de hidrógeno, la degradación de la glucosa como sustrato y las bacterias anaerobias en los procesos de tratamiento anaeróbico (90). En este estudio se evidenció que, al aumentar el tiempo de retención, los recuentos de bacterias

anaerobias generales y bacterias formadoras de ácidos grasos volátiles en cada reactor aumentan, mientras que los recuentos del género *Clostridium* y bacterias reductoras de sulfato disminuyen. El contenido de hidrógeno gaseoso también disminuye con el aumento del tiempo de retención de sólidos.

G. Impacto ambiental

El impacto ambiental en los procesos industriales siempre existirá, ya que se utilizan recursos energéticos, o materias primas que se traducen en bienes y servicios (33). Por lo tanto, los procesos de obtención de hidrógeno no son la excepción, y la generación de GEI constituye uno de los principales impactos ambientales asociados con ello.

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de los GEI para diferentes tecnologías relacionadas con la producción de hidrógeno, utilizando la metodología Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés) (91). Allí se puede contrastar la fermentación oscura con otras tecnologías, donde se consideraron las siguientes etapas: extracción y adquisición de materias primas, fabricación, transporte y distribución, uso, mantenimiento y reparación, y fin de vida útil (92, 93).

Tipo de ruta	Tecnología	Valor (gCO ₂ eq/MJ)
Química	Oxidación parcial	102
Química	Gasificación	19 - 242
Química	Reformado con captura de carbono	8
Química	Reformado	20 - 86
Química	Termólisis	1 - 3
Química	Termólisis química	50 - 306
Química	Electrólisis con energía solar	17 - 31
Química	Electrólisis con energía eólica	7 - 21
Bioquímica	Fermentación (foto-fermentación, fermentación oscura o combinación)	28 - 46
Bioquímica	Bioelectrólisis catalizada	44

Tabla 6. Reporte de emisiones de gases de efecto invernadero. Elaboración propia basada en (91).

El impacto ambiental se puede traducir a la denominada huella de carbono, que para el caso de la producción de hidrógeno como vector energético, se ha venido estudiando a lo largo del tiempo (43). Hay diversas tecnologías que se han usado, como el Reformado de Metano con Vapor (SMR_H, por sus siglas en inglés), la Gasificación de Biomasa (BMG_H, por sus siglas en inglés), la Electrólisis de Agua Alcalina (GPE_H, por sus siglas en inglés) con energía de la red eléctrica y

la Electrólisis de Agua Alcalina con energía eólica (WPE_H, por sus siglas en inglés) (43, 94). Para el año 2030 y 2050 las rutas más contaminantes son las de origen fósil y las menos contaminantes son las opciones renovables (WPE_H y BMG_H), con huellas de carbono estables alrededor de cero (95). La Figura 2 muestra el avance de las tecnologías hasta el año 2050 y su impacto traducido a huella de carbono.

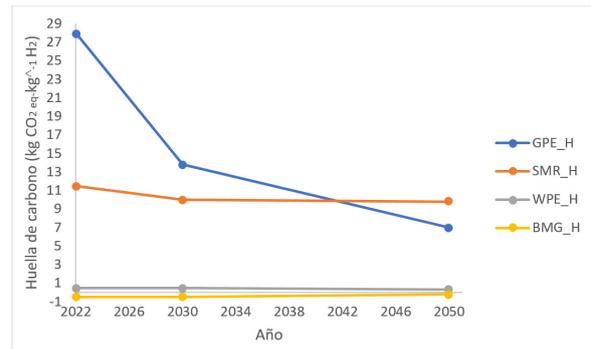


Figura 2. Huella de carbono hasta el año 2050. Elaboración propia basada en (34).

La producción de hidrógeno por fermentación oscura es una vía potencialmente más sostenible en comparación con la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles, ya que utiliza microorganismos que consumen CO₂ durante el proceso, lo que puede reducir la huella de carbono en comparación con las tecnologías convencionales. Sin embargo, se hace necesario tener en cuenta algunos factores para evaluar adecuadamente la huella de carbono tales como consumo de carbono, emisiones de gases de efecto invernadero, eficiencia del proceso y energía utilizada.

H. Papel de la Ingeniería Química

A lo largo de los últimos años, con el aumento del uso del petróleo y el gas natural, el ingeniero químico encaminó la evolución de estas materias primas con el fin de producir bienes y servicios que son esenciales para la vida de los seres humanos hoy en día, tal como la urea, la gasolina, el diésel y una larga lista de plásticos y polímeros (35). Sin embargo, queda la pregunta de cómo abordará los desafíos impuestos por los recursos renovables, la obtención de los productos químicos y el suministro de energía.

Los ingenieros químicos encontraron un gran atractivo en el uso de la herramienta LCA. Los aspectos del ejercicio LCA, como la construcción de diagramas de flujo de proceso,



el establecimiento de límites del sistema, la definición de una unidad funcional y el equilibrio de masa y energía, son todos muy familiares para el ingeniero químico. Con esto, se ha trabajado en el desarrollo de nuevos combustibles como el hidrógeno, por medio de diferentes métodos, como la fermentación oscura por ejemplo, aportando en aspectos tan importantes como el diseño de reactores o de plantas químicas, el control de parámetros de proceso, la optimización del medio de cultivo, la evaluación de la cinética de reacción, y la recuperación y purificación del hidrógeno (93, 96).

Desde la Ingeniería Química se ha venido trabajando para dar solución a los graves problemas ambientales que existen hoy en día. Por ejemplo, el ingeniero James A. Trainham y sus colegas plantean el uso de combustibles solares para generar hidrógeno, comparando cuatro rutas prometedoras, fotoelectroquímica, termoquímica, electrólisis/térmica y gasificación de biomasa, todas impulsadas por energía solar (97). También se ha estudiado el diseño de biorreactores para la producción de hidrógeno, específicamente por medio de la fermentación oscura, a partir de residuos agroindustrial (98, 99).

Por otra parte, se tienen importantes desafíos y oportunidades en el campo de la biología sintética en rápido crecimiento, donde es imprescindible el rol que los ingenieros químicos pueden desempeñar en su avance. La biología sintética brinda numerosas y excelentes oportunidades para los ingenieros químicos, en el desarrollo de nuevos procesos para la producción a gran escala de biocombustibles, productos químicos de valor agregado y terapias de proteínas. Sin embargo, abundan los desafíos en todas las escalas. En particular, la modularización y estandarización de los componentes de un sistema biológico, siguen siendo el mayor obstáculo de la biología sintética (100).

En general, la industria química ha progresado en el tratamiento de las preocupaciones ambientales. El desarrollo de la química verde y su implementación tanto en la academia como en la industria ha promovido una mentalidad más sostenible en los ingenieros químicos (96). La aplicación de los principios de la química verde en la producción de hidrógeno es fundamental para avanzar hacia una economía sostenible y con menor impacto ambiental, con menores

emisiones de GEI, valorización de subproductos, y generación y almacenamiento de energía renovable.

En conjunto, los aportes de la Ingeniería Química en la fermentación oscura ayudan a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de este proceso de producción de hidrógeno, lo que favorece su aplicación como un vector energético limpio y renovable en el futuro.

IV. CONCLUSIONES

- Las investigaciones relacionadas con la producción de hidrógeno por diferentes medios, como la fermentación oscura, proponen al hidrógeno como una alternativa de biocombustible para mitigar los efectos del cambio climático.
- La revisión revela que el uso de biomasa lignocelulósica, como bagazo de caña de azúcar, paja de trigo, paja de arroz, rastrojo de maíz, pulpa de zanahoria, etc., es una excelente fuente de carbono fermentable para producir biohidrógeno con altos rendimientos.
- Mediante el método de fermentación oscura, los géneros bacterianos *Enterobacter*, *Bacillus* y *Clostridium*, dadas sus características fisicoquímicas, generan unos rendimientos aproximadamente de 2 mol H₂/mol glucosa.
- Las condiciones de operación más sensibles de controlar en el proceso de producción de hidrógeno fermentativo son pH, inóculo, sustrato, tipo de reactor, nutrientes y temperatura. Si alguno de estos parámetros se altera repentinamente, se puede disminuir drásticamente el rendimiento (mol H₂/mol glucosa), ya que pueden verse alteradas las rutas metabólicas utilizadas.
- Una de las limitantes para el uso de la fermentación oscura en la obtención de hidrógeno es su velocidad y volumen de producción, que suelen ser muy reducidos en comparación con la producción de hidrógeno a partir de otras tecnologías renovables.
- El proceso de fermentación oscura puede generar hidrógeno de manera eficiente y con una menor huella de carbono en comparación con los métodos tradicionales

basados en combustibles fósiles, con 28 - 46 g CO₂eq/MJ, y se convierte en una alternativa prometedora en la búsqueda de fuentes de energía más limpias y sostenibles.

- En América Latina se debe promover el desarrollo de más investigaciones respecto a la obtención de hidrógeno a partir de biomasa, una materia prima abundante en el entorno, para así propiciar una mayor diversidad de fuentes energéticas.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Procesos de Separación no Convencionales (GPS) adscrito a la Universidad de América y al Semillero de Investigación SimPro_GPS de la Facultad de Ingeniería.

VI. REFERENCIAS

1. Claassen, P. A., & De Vrije, T. Non-thermal production of pure hydrogen from biomass: HYVOLUTION. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(11): 1416-1423.
2. Romero, M. G. Biocombustibles y producción de biohidrógeno. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*. 2020; (38): 8.
3. Jahanger, A., Ozturk, I., Onwe, J. C., Joseph, T. E., & Hossain, M. R. Do technology and renewable energy contribute to energy efficiency and carbon neutrality? Evidence from top ten manufacturing countries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023; 56: 103084.
4. Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability (Doctoral dissertation, GIEC)*. 2022.
5. Ueckerdt, F., Verpoort, P., Anantharaman, R., Bauer, C., Beck, F., Longden, T., & Roussanaly, S. On the cost competitiveness of blue and green hydrogen. Available at SSRN 4501786. 2023.
6. Sinha, P., & Pandey, A. An evaluative report and challenges for fermentative biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011; 36(13): 7460-7478.
7. Castiblanco, O., & Cárdenas, D. J. Producción de hidrógeno y su perspectiva en Colombia: una revisión. *Gestión y Ambiente*. 2020; 23(2): 299-311.
8. Ananthi, V., Ramesh, U., Balaji, P., Kumar, P., Govarthanan, M., & Arun, A. A review on the impact of various factors on biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022.
9. Liu, X., Zhu, Y., & Yang, S. T. Butyric acid and hydrogen production by *Clostridium tyrobutyricum* ATCC 25755 and mutants. *Enzyme and Microbial Technology*. 2006; 38(3-4): 521-528.
10. Zhang, T., Liu, H., & Fang, H. H. Biohydrogen production from starch in wastewater under thermophilic condition. *Journal of environmental management*. 2003; 69(2): 149-156.
11. Londoño, S. A. B., & Chaparro, T. R. Producción de biohidrógeno a partir de residuos mediante fermentación oscura: una revisión crítica (1993-2011). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 2012; 20(3): 398-411.
12. Mohanakrishna, G., Sneha, N. P., Rafi, S. M., & Sarkar, O. Dark fermentative hydrogen production: Potential of food waste as future energy needs. *Science of The Total Environment*. 2023; 888: 163801.
13. Pasquevich, D. Tecnología del hidrógeno. *Petrotecnia*. 2004; 1: 55.
14. Martínez-Barrera, G., Martínez-López, M., & Téllez-López, A. Hidrógeno: tecnologías de producción, almacenamiento y aplicaciones. *Consejo Ejecutivo*, 100. 2022.
15. Taherian, Z., Khataee, A., Han, N., & Orooji, Y. Hydrogen production through methane reforming processes using promoted-Ni/mesoporous silica: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2022; 107: 20-30.
16. Kumar, S. S., & Lim, H. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy reports*. 2022; 8: 13793-13813.



17. Vidas, L., & Castro, R. Recent developments on hydrogen production technologies: state-of-the-art review with a focus on green-electrolysis. *Applied Sciences*. 2021; 11(23): 11363.
18. Ahmad Kamaroddin, M. F., Sabli, N., Tuan Abdullah, T. A., Siajam, S. I., Abdullah, L. C., Abdul Jalil, A., & Ahmad, A. Membrane-based electrolysis for hydrogen production: A review. *Membranes*. 2021; 11(11): 810.
19. Díez, E. G. Reformado de combustibles líquidos con captura de co2 mediante transportadores sólidos de oxígeno (Doctoral dissertation, Universidad de Zaragoza). 2017.
20. Klug, M. Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*. 2012; 26(1-2): 37-40.
21. Lopez, G., Santamaria, L., Lemonidou, A., Zhang, S., Wu, C., Sipra, A. T., & Gao, N. Hydrogen generation from biomass by pyrolysis. *Nature Reviews Methods Primers*. 2022; 2(1): 20.
22. Domenech, P. Tecnologías de producción de hidrógeno basadas en métodos biológicos (No. 1481). CIEMAT technical reports. 2020.
23. Drapcho, C. M., Nhuan, N. P., & Walker, T. H. *Biofuels engineering process technology* (No. Sirsi) i9780071487498). New York: McGraw-Hill. 2008.
24. Yu, J., & Takahashi, P. Biophotolysis-based hydrogen production by cyanobacteria and green microalgae. *Communicating current research and educational topics and trends in applied microbiology*. 2007; 1: 79-89.
25. Ghiasian, M. Biophotolysis-based hydrogen production by cyanobacteria. *Prospects of renewable bioprocessing in future energy systems*. 2019: 161-184.
26. Lu, L., & Ren, Z. J. Microbial electrolysis cells for waste biorefinery: A state of the art review. *Bioresource technology*. 2016; 215: 254-264.
27. Hua, T., Li, S., Li, F., Zhou, Q., & Ondon, B. S. Microbial electrolysis cell as an emerging versatile technology: a review on its potential application, advance and challenge. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2019; 94(6): 1697-1711.
28. Fernández Rodríguez, C., Martínez Torres, E. J., Morán Palao, A., & Gómez Barrios, X. Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. *Revisión bibliográfica. Revista Ion*. 2016; 29(1): 47-62.
29. De Vrije, T., & Claassen, P. A. M. Dark hydrogen fermentations. *Bio-methane & Bio-hydrogen*. 2003; 103-123.
30. Fang, Z., Smith, R. L., & Qi, X. (Eds.). *Production of hydrogen from renewable resources* (Vol. 5). Dordrecht: Springer. 2015.
31. Adams, M. W., Mortenson, L. E., & Chen, J. S. Hydrogenase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Bioenergetics*. 1980; 594(2-3): 105-176.
32. Thauer, R. K., Jungermann, K., & Decker, K. Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria. *Bacteriological reviews*. 1977; 41(1): 100-180.
33. Álvarez-Delgado, A., Otero-Rambla, M. A., & Faife-Pérez, E. Impacto ambiental de la producción de agro-combustibles. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 2011; 45(2): 19-27.
34. Wang, J., & Wan, W. Factors influencing fermentative hydrogen production: a review. *International journal of hydrogen energy*. 2009; 34(2): 799-811.
35. Agrawal, R., & Sikdar, S. K. Energy, environment and sustainability challenges and opportunities for chemical engineers. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2012; 3(1): 201-203.
36. Lin, C. Y., Chang, C. C., & Hung, C. H. (2008). Fermentative hydrogen production from starch using natural mixed cultures. *International journal of hydrogen energy*, 33(10), 2445-2453.
37. Sarangi, P. K., & Nanda, S. Biohydrogen production through dark fermentation. *Chemical Engineering & Technology*. 2020; 43(4): 601-612.
38. Levin, D. B., Carere, C. R., Cicek, N., & Sparling, R. Challenges for biohydrogen production via direct lignocellulose fermentation. *International journal of hydrogen energy*. 2009; 34(17): 7390-7403.
39. Soares, J. F., Confortin, T. C., Toderó, I., Mayer, F. D., & Mazutti, M. A. Dark fermentative biohydrogen

- production from lignocellulosic biomass: technological challenges and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 117: 109484.
40. VanFossen, A. L., Verhaart, M. R., Kengen, S. M., & Kelly, R. M. Carbohydrate utilization patterns for the extremely thermophilic bacterium *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* reveal broad growth substrate preferences. *Applied and Environmental Microbiology*. 2009; 75(24): 7718-7724.
 41. De Vrije, T., Bakker, R. R., Budde, M. A., Lai, M. H., Mars, A. E., & Claassen, P. A. Efficient hydrogen production from the lignocellulosic energy crop *Miscanthus* by the extreme thermophilic bacteria *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* and *Thermotoga neapolitana*. *Biotechnology for biofuels*. 2009; 2(1): 1-15.
 42. Levin, D. B., Pitt, L., & Love, M. Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. *International journal of hydrogen energy*. 2004; 29(2): 173-185.
 43. Valente, A., Iribarren, D., & Dufour, J. Prospective carbon footprint comparison of hydrogen options. *Science of The Total Environment*. 2020; 728: 138212.
 44. Ginkel, S. V., Sung, S., & Lay, J. J. Biohydrogen production as a function of pH and substrate concentration. *Environmental science & technology*. 2001; 35(24): 4726-4730.
 45. Bielen, A. A., Verhaart, M. R., VanFossen, A. L., Blumer-Schuetz, S. E., Stams, A. J., van der Oost, J., ... & Kengen, S. W. A thermophile under pressure: Transcriptional analysis of the response of *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* to different H₂ partial pressures. *International journal of hydrogen energy*. 2013; 38(4): 1837-1849.
 46. Chen, W. H., Chen, S. Y., Khanal, S. K., & Sung, S. Kinetic study of biological hydrogen production by anaerobic fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(15): 2170-2178.
 47. Pérez-Rangel, M., Barboza-Corona, J. E., Buitrón, G., & Valdez-Vazquez, I. Essential nutrients for improving the direct processing of raw lignocellulosic substrates through the dark fermentation process. *BioEnergy research*. 2020; 13: 349-357.
 48. Wang, J., & Yin, Y. *Clostridium* species for fermentative hydrogen production: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021; 46(70): 34599-34625..
 49. Moussa, R. N., Moussa, N., & Dionisi, D. Hydrogen production from biomass and organic waste using dark fermentation: an analysis of literature data on the effect of operating parameters on process performance. *Processes*. 2022; 10(1): 156.
 50. D'Silva, T. C., Khan, S. A., Kumar, S., Kumar, D., Isha, A., Deb, S., ... & Semple, K. T. Biohydrogen production through dark fermentation from waste biomass: Current status and future perspectives on biorefinery development. *Fuel*. 2023; 350: 128842.
 51. Urbaniec, K., & Bakker, R. R. Biomass residues as raw material for dark hydrogen fermentation—A review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015; 40(9): 3648-3658.
 52. Panagiotopoulos, I. A., Bakker, R. R., De Vrije, T., Koukios, E. G., & Claassen, P. A. M. Pretreatment of sweet sorghum bagasse for hydrogen production by *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010; 35(15): 7738-7747.
 53. Patra, S., Sangyoka, S., Boonmee, M., & Reungsang, A. Bio-hydrogen production from the fermentation of sugarcane bagasse hydrolysate by *Clostridium butyricum*. *International journal of hydrogen energy*. 2008; 33(19): 5256-5265.
 54. Eriksen, N. T., Riis, M. L., Holm, N. K., & Iversen, N. H₂ synthesis from pentoses and biomass in *Thermotoga* spp. *Biotechnology letters*. 2011; 33: 293-300.
 55. Lo, Y. C., Lu, W. C., Chen, C. Y., & Chang, J. S. Dark fermentative hydrogen production from enzymatic hydrolysate of xylan and pretreated rice straw by *Clostridium butyricum* CGS5. *Bioresource technology*. 2010; 101(15): 5885-5891.
 56. Datar, R., Huang, J., Maness, P. C., Mohagheghi, A., Czernik, S., & Chornet, E. Hydrogen production from the fermentation of corn stover biomass pretreated with a steam-explosion process. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2007; 32(8): 932-939.
 57. De Vrije, T., Budde, M. A., Lips, S. J., Bakker, R. R., Mars, A. E., & Claassen, P. A. Hydrogen production



- from carrot pulp by the extreme thermophiles *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* and *Thermotoga neapolitana*. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010; 35(24): 13206-13213.
58. Levin, D. B., Islam, R., Cicek, N., & Sparling, R. Hydrogen production by *Clostridium thermocellum* 27405 from cellulosic biomass substrates. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(11): 1496-1503.
 59. Kádár, Z., de Vrije, T., van Noorden, G. E., Budde, M. A., Szengyel, Z., Réczey, K., & Claassen, P. A. Yields from glucose, xylose, and paper sludge hydrolysate during hydrogen production by the extreme thermophile *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*. In *Proceedings of the Twenty-Fifth Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals Held May 4–7, 2003*, in Breckenridge, CO (pp. 497-508). Humana Press. 2004.
 60. Espinosa Negrín, A. M., López González, L. M., & Casdelo Gutiérrez, N. L. Pretratamiento de Biomásas Lignocelulósicas: Breve Revisión de los Principales Métodos Utilizados. *Centro Azúcar*. 2021; 48(3): 108-119.
 61. Gorozabel, B. P. L., Reyes, E. R., & Parra, J. C. P. Transformación de Biomasa Lignocelulósica en Biocombustible de Segunda Generación: Estado del Arte del Pretratamiento. *Revista Bases de la Ciencia*. 2022; 7(ESPECIAL): 3-22.
 62. Hendriks, A. T. W. M., & Zeeman, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource technology*. 2009; 100(1): 10-18.
 63. Wi, S. G., Cho, E. J., Lee, D. S., Lee, S. J., Lee, Y. J., & Bae, H. J. Lignocellulose conversion for biofuel: a new pretreatment greatly improves downstream biocatalytic hydrolysis of various lignocellulosic materials. *Biotechnology for biofuels*. 2015; 8(1): 1-11.
 64. Mohammad, J. T., & Keikhosro, K. Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A Review. *Bio Resources*. 2007; 2(4): 707-738.
 65. Arismendy, A. M., Villa Retrepo, A. F., Alcaraz, W., Chamorro, E. R., & Area, M. C. (Optimización de la hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz. *Revista de Ciencia y Tecnología*. 2019; (32): 1-10.
 66. Bustos, C. R. B., Morales, D., Cuellar, L., & Jaramillo, S. Hidrólisis enzimática de almidón. *Revista de Investigación*. 2017; 10(1): 129-140.
 67. Vásquez Flores, D. Producción de hidrógeno mediante fermentación oscura. *Revisión sistemática*, 2020. 2020.
 68. Castelló, E., Ferraz-Junior, A. D. N., Andreani, C., del Pilar Anzola-Rojas, M., Borzacconi, L., Buitrón, G., ... & Etchebehere, C. Stability problems in the hydrogen production by dark fermentation: possible causes and solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 119: 109602.
 69. Boshagh, F., Rostami, K., & van Niel, E. W. Application of kinetic models in dark fermentative hydrogen production—A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022; 47(52): 21952-21968.
 70. Gopalakrishnan, B., Khanna, N., & Das, D. Dark-fermentative biohydrogen production. In *Biohydrogen* (pp. 79-122). Elsevier. 2019.
 71. Dias, P., Moura, P., & de Carvalho, C. Hydrogen production by *Clostridium butyricum*: improving production yields and assessing changes in the cell lipid profile during adaptation to furans and gallic acid.
 72. Liu, G., & Shen, J. Effects of culture and medium conditions on hydrogen production from starch using anaerobic bacteria. *Journal of bioscience and bioengineering*. 2004; 98(4): 251-256.
 73. Chen, W. M., Tseng, Z. J., Lee, K. S., & Chang, J. S. Fermentative hydrogen production with *Clostridium butyricum* CGS5 isolated from anaerobic sewage sludge. *International journal of hydrogen energy*. 2005; 30(10): 1063-1070.
 74. Yokoi, H., Saito, A., Uchida, H., Hirose, J. U. N., Hayashi, S., & Takasaki, Y. Microbial hydrogen production from sweet potato starch residue. *Journal of bioscience and bioengineering*. 2001; 91(1): 58-63.
 75. Ishikawa, M., Yamamura, S., Takamura, Y., Sode, K., Tamiya, E., & Tomiyama, M. Development of a

- compact high-density microbial hydrogen reactor for portable bio-fuel cell system. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(11): 1484-1489.
76. Bisailon, A., Turcot, J., & Hallenbeck, P. C. The effect of nutrient limitation on hydrogen production by batch cultures of *Escherichia coli*. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(11): 1504-1508.
 77. Aki, H., Yamamoto, S., Kondoh, J., Maeda, T., Yamaguchi, H., Murata, A., & Ishii, I. Fuel cells and energy networks of electricity, heat, and hydrogen in residential areas. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(8): 967-980.
 78. Redwood, M. D., & Macaskie, L. E. A two-stage, two-organism process for biohydrogen from glucose. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(11): 1514-1521.
 79. Collet, C., Adler, N., Schwitzguébel, J. P., & Péringer, P. Hydrogen production by *Clostridium thermolacticum* during continuous fermentation of lactose. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2004; 29(14): 1479-1485.
 80. Zhang, Z. P., Show, K. Y., Tay, J. H., Liang, D. T., Lee, D. J., & Jiang, W. J. Effect of hydraulic retention time on biohydrogen production and anaerobic microbial community. *Process Biochemistry*. 2006; 41(10): 2118-2123.
 81. Bedoya, A., Castrillón, J. C., Ramírez, J. E., Vásquez, J. E., & Arias Zabala, M. Producción biológica de hidrógeno: una aproximación al estado del arte. *Dyna*. 2008; 75(154): 137-157.
 82. Kawagoshi, Y., Hino, N., Fujimoto, A., Nakao, M., Fujita, Y., Sugimura, S., & Furukawa, K. Effect of inoculum conditioning on hydrogen fermentation and pH effect on bacterial community relevant to hydrogen production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2005; 100(5): 524-530.
 83. Cai, M., Liu, J., & Wei, Y. Enhanced biohydrogen production from sewage sludge with alkaline pretreatment. *Environmental science & technology*. 2004; 38(11): 3195-3202.
 84. Oh, Y. K., Seol, E. H., Kim, J. R., & Park, S. Fermentative biohydrogen production by a new chemoheterotrophic bacterium *Citrobacter* sp. Y19. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2003; 28(12): 1353-1359.
 85. Cheong, D. Y., & Hansen, C. L. Acidogenesis characteristics of natural, mixed anaerobes converting carbohydrate-rich synthetic wastewater to hydrogen. *Process Biochemistry*. 2006; 41(8): 1736-1745.
 86. Zhu, H., & Béland, M. Evaluation of alternative methods of preparing hydrogen producing seeds from digested wastewater sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(14): 1980-1988.
 87. Chen, X., Sun, Y., Xiu, Z., Li, X., & Zhang, D. Stoichiometric analysis of biological hydrogen production by fermentative bacteria. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(4): 539-549.
 88. Hussy, I., Hawkes, F. R., Dinsdale, R., & Hawkes, D. L. Continuous fermentative hydrogen production from sucrose and sugarbeet. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2005; 30(5): 471-483.
 89. Asada, Y., Tokumoto, M., Aihara, Y., Oku, M., Ishimi, K., Wakayama, T., ... & Kohno, H. Hydrogen production by co-cultures of *Lactobacillus* and a photosynthetic bacterium, *Rhodobacter sphaeroides* RV. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006; 31(11): 1509-1513.
 90. Nakamura, M., Kanbe, H., & Matsumoto, J. I. Fundamental studies on hydrogen production in the acid-forming phase and its bacteria in anaerobic treatment processes—the effects of solids retention time. *Water Science and Technology*. 1993; 28(7): 81-88.
 91. Cardona-Alzate, C. A. Análisis del ciclo de vida para la producción de hidrógeno como combustible del futuro. *Revista Cubana de Química*. 2013; 25(2): 165-179.
 92. Drapcho, C. M., Nhuan, N. P., & Walker, T. H. *Biofuels engineering process technology* (No. Siri) i9780071487498). New York: McGraw-Hill. 2008.
 93. Morya, R., Raj, T., Lee, Y., Pandey, A. K., Kumar, D., Singhanian, R. R., ... & Kim, S. H. Recent updates in biohydrogen production strategies and life-cycle assessment for sustainable future. *Bioresource technology*. 2022; 128159.



94. Hren, R., Vujanović, A., Van Fan, Y., Klemeš, J. J., Krajnc, D., & Čuček, L. Hydrogen production, storage and transport for renewable energy and chemicals: An environmental footprint assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023; 173: 113113.
95. Rojas, J., Zhai, S., Sun, E., Haribal, V., Marin-Quiros, S., Sarkar, A., ... & Majumdar, A. Technoeconomics and carbon footprint of hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023.
96. Provo, J., Fava, J., & Baer, S. Life Cycle Assessment and the chemical engineer: a marriage of convenience. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2013; 2(3): 278-281.
97. Trainham, J. A., Newman, J., Bonino, C. A., Hoertz, P. G., & Akunuri, N. Whither solar fuels?. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2012; 1(3): 204-210.
98. Cadena Martínez, D. L., & Córdoba España, W. A. Propuesta para la obtención de biohidrógeno por fermentación oscura a partir de un residuo agroindustrial (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América). 2022.
99. Qyyum, M. A., Ihsanullah, I., Ahmad, R., Ismail, S., Khan, A., Nizami, A. S., & Tawfik, A. Biohydrogen production from real industrial wastewater: Potential bioreactors, challenges in commercialization and future directions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022; 47(88): 37154-37170.
100. Luo, Y., Lee, J. K., & Zhao, H. Challenges and opportunities in synthetic biology for chemical engineers. *Chemical engineering science*. 2013; 103: 115-119.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN TEJADOS EN EL CANTÓN QUITO

Photovoltaic potential assessment on rooftops in Quito

iD	¹ Mariela Tapia *
iD	² Leonard Ramos
iD	² Detlev Heinemann
iD	³ Edwin Zondervan

¹ University of Bremen, Resilient Energy Systems Research Group, Bremen, Germany.

² University of Oldenburg, Institute of Physics, Energy Meteorology Group, Oldenburg, Germany.

³ University of Twente, Laboratory of Process Systems Engineering, Enschede, The Netherlands.

*mariela.tapia@uni-bremen.de

RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo evaluar el potencial técnico y económico de la energía solar fotovoltaica en tejados de las parroquias urbanas y rurales del cantón Quito en Ecuador. Para esto, primero se calculó el área disponible de tejados y terrazas usando datos de sistema de información geográfica. Posteriormente, se calculó la energía fotovoltaica que podría ser generada utilizando una herramienta de modelado en Python. Por último, se evaluó la factibilidad económica en términos del costo nivelado de electricidad (LCOE - por sus siglas en inglés) bajo tres escenarios financieros. Los resultados indican que existe una superficie total disponible de 61 km² en la que podría instalarse una capacidad total de 5403.74 MWp y generar un total de 7851.51 GWh al año, lo cual podría cubrir 2.3 veces el consumo de electricidad registrado en 2019 en el cantón. Sin embargo, la evaluación económica revela que esta tecnología es competitiva únicamente en el escenario financiero bajo. Por lo tanto, estos resultados pueden apoyar a las autoridades locales en la planificación y diseño de políticas y estrategias financieras para incrementar la penetración de sistemas fotovoltaicos en tejados y así explotar el gran potencial fotovoltaico evaluado en el cantón Quito.

Palabras Clave: *evaluación de recurso solar, generación fotovoltaica en tejados, potencial técnico-económico, sistemas de información geográfica, Ecuador.*

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the technical and economic potential of photovoltaic solar energy on rooftops in urban and rural parishes in Quito, Ecuador. The assessment involves: the estimation of the available rooftop area using geographic information system data, the calculation of PV power generation using a modeling tool in Python, and the evaluation of the economic feasibility in terms of the levelized cost of electricity (LCOE) under three financial scenarios. The results indicate that there is a total available rooftop area of 61 km², on which a total capacity of 5403.74 MWp could be installed to generate a total of 7851.51 GWh per year, which could cover 2.3 times the electricity consumption of the city in 2019. However, the economic assessment shows that rooftop PV technology is only cost-competitive under the low financial scenario. Therefore, these findings can support local authorities in planning and designing policies and financial strategies to increase the penetration of rooftop PV and thus exploit the large PV potential evaluated in Quito.

Keywords: *Solar resource assessment, rooftop photovoltaic, techno-economic potential, geographic information systems, Ecuador.*



I. INTRODUCCIÓN

La energía solar continúa liderando la expansión de la capacidad de generación renovable a nivel mundial (1). El uso de sistemas fotovoltaicos (FV) instalados en tejados y fachadas de edificaciones, o integrados en ellas, está aumentando en ciudades de regiones desarrolladas como Europa y Norteamérica. Esto se debe no solo a la flexibilidad y escalabilidad de esta tecnología, sino también a su rápido desarrollo, que ha reducido los costos de los módulos fotovoltaicos en más de un 85% entre 2009 y 2018 en la mayoría de los mercados (2).

El desarrollo de sistemas FV en las ciudades puede producir energía limpia para satisfacer la demanda de electricidad urbana y, al mismo tiempo, fomentar nuevos negocios y crear oportunidades de empleo local (3). No obstante, el despliegue de sistemas FV en ciudades de países en desarrollo, que cuentan con un mayor potencial solar, a menudo se encuentra en una fase más temprana (3). Este es el caso de Ecuador, un país con un importante potencial de energía solar, ya que casi el 55% de su territorio presenta niveles de radiación solar superiores a 4.1 kWh/m²/d (4). No obstante, la participación de la generación FV en la matriz energética es aún marginal, con una producción total de energía eléctrica del 0,1% en 2020, proveniente de una capacidad total instalada de 27.63 MW (5), la cual en su mayoría corresponde a sistemas fotovoltaicos instalados en suelo.

Sin embargo, el reciente marco normativo de la generación distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica (6) ha fomentado el despliegue de la tecnología FV y hasta marzo 2021 se reportaron 80 sistemas de este tipo de tecnología con una capacidad total instalada de 3 MW para autoconsumo de usuarios residenciales, comerciales e industriales (7).

Para promover un mayor despliegue de los sistemas FV en las ciudades ecuatorianas, el presente trabajo tiene por objeto evaluar el potencial técnico y económico de sistemas FV instalados en tejados o terrazas en el cantón Quito, que comprende 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y tiene una población de aproximadamente 2.2 millones de habitantes (8). La Figura 1 presenta la ubicación geográfica del

área de estudio y la Figura 2 muestra en detalle las parroquias urbanas y rurales del cantón.

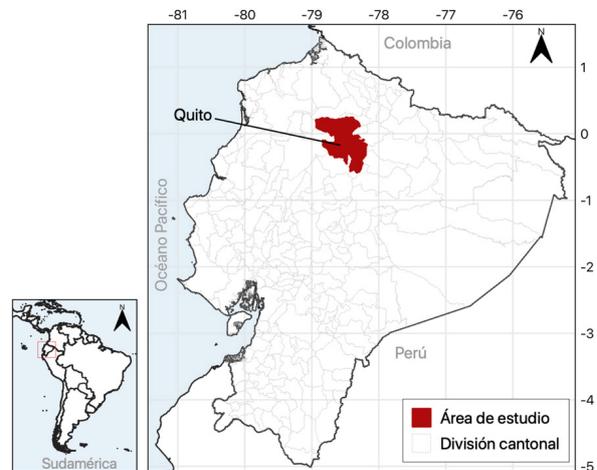


Figura 1. Ubicación geográfica del cantón Quito. Fuente: Ilustración propia, datos obtenidos de la Ref. (9).

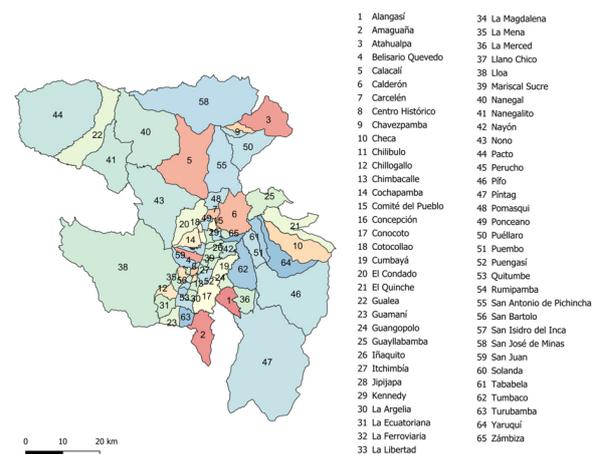


Figura 2. Mapa de división política administrativa (parroquias urbanas y rurales) del cantón Quito. Fuente: Ilustración propia, datos obtenidos de la Ref. (9).

Previamente, Dávila y Vallejo (10) utilizaron un enfoque estadístico para evaluar el potencial técnico de sistemas FV en tejados en las 32 parroquias urbanas de Quito. Los autores calcularon la superficie de tejados a partir de la caracterización de la superficie de los edificios en dos manzanas aleatorias de cada parroquia, para luego extrapolarla a toda la zona urbana. Para el cálculo de la generación FV anual los autores utilizaron los valores medios anuales de radiación solar de un punto dentro de cada parroquia en base a los datos del año meteorológico típico, que fueron obtenidos de la base de datos *National Solar Radiation Database* (NSRDB) (11).

En este trabajo, presentamos un procedimiento diferente para el cálculo del potencial técnico,

el cual está basado en sistemas de información geográfica (SIG) y datos meteorológicos horarios en una grilla de resolución espacial de 3×3 km. De esta forma, la variabilidad espacial y temporal del recurso solar en el área de estudio es tomada en cuenta para la evaluación del potencial FV en tejados de las parroquias urbanas y rurales del cantón Quito.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Datos meteorológicos

Las series históricas horarias desde 1998 hasta 2018 de radiación horizontal global (GHI), radiación horizontal difusa (DHI), radiación normal directa (DNI) en $[W/m^2]$, velocidad del viento en $[m/s]$, y temperatura ambiente en $[^\circ C]$ sobre el área de estudio fueron obtenidas desde la base de datos de NSRDB. Cabe señalar que la resolución horizontal nativa de los datos meteorológicos de NSRDB fue incrementada a 3×3 km para empatar la resolución espacial de varios conjuntos de datos que utilizamos en otros estudios (ver más detalles en Tapia et al. (12)).

Metodología

La metodología para la evaluación del potencial de energía solar FV en tejados comprende tres etapas que son explicadas en detalle a continuación.

• Evaluación geoespacial

El procedimiento comienza con el cálculo del área disponible de los tejados en edificaciones que podría ser utilizada para la instalación de sistemas FV. Este cálculo se realizó en base al catastro digital del cantón Quito (13), el cual contiene polígonos vectoriales que representan una vista aérea de las superficies edificadas de las parroquias urbanas y rurales del cantón. Para el procesamiento de los datos SIG se utilizó el software QGIS v3.16 (14). Primero se dividió el mapa de límites administrativos del cantón en una grilla de referencia con cuadrados de 3×3 km, cuyos centroides son las coordenadas geográficas del conjunto de datos meteorológicos (Figura 3a). Este procedimiento es necesario para garantizar que tanto las superficies calculadas de los tejados coincidan en términos de resolución espacial con los datos meteorológicos, permitiendo así el posterior cálculo del potencial técnico. Una vez construida la capa de referencia, los polígonos

localizados dentro de cada grilla fueron extraídos (Figura 3b) para posteriormente calcular el área total de los mismos. Este procedimiento se repitió para cada cuadrado de la grilla hasta cubrir toda la zona de estudio.

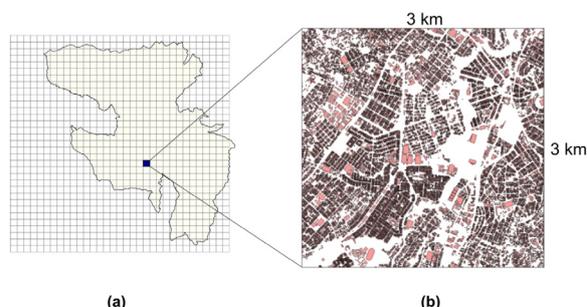


Figura 3. Ilustración del procesamiento de los datos SIG para calcular el área disponible de tejados en el cantón Quito. (a) Generación de una grilla sobre el mapa digital de límites administrativos. (b) Extracción de los polígonos que representan edificaciones ubicadas dentro de cada cuadrícula.

• Evaluación técnica

La librería pvlib-python (15) se utilizó para calcular la energía solar FV que podría generarse en la superficie total disponible de los tejados en cada uno de los cuadrados de la grilla previamente calculada. Esta librería permite simular el desempeño de un sistema FV en base a datos meteorológicos de entrada, especificaciones del módulo FV y parámetros técnicos del sistema. En este estudio, los parámetros técnicos del sistema son fijados en los valores mostrados en la Tabla 1, donde el factor de pérdidas (f_p) representa las pérdidas energéticas debido a captación y de sistema; y el factor de utilización (f_u) se define como la parte utilizable de la superficie del tejado apto para la instalación de los módulos FV. En este caso, se utilizó el módulo de silicio monocristalino SPR 220 BLK-U del fabricante SunPower, cuyas características son obtenidas directamente en pvlib-python.

Parámetro	Valor	Referencia
Acimut (respecto al norte)	0°	(16)
Ángulo de inclinación	20°	(17)
Factor de pérdidas (f_p)	14%	(18), (19)
Factor de utilización (f_u)	50%	(20)

Tabla 1. Parámetros técnicos del sistema FV utilizados para la evaluación del potencial técnico.

El rendimiento eléctrico de los módulos FV se simuló usando el modelo Sandia Array Performance Model (SAPM) (21), seleccionado directamente en pvlib-python. Usando los datos



meteorológicos a nivel horario de un punto de la grilla de ubicación (s), el modelo SAPM simula la curva característica de corriente-voltaje que determina la potencia de salida de un único módulo FV en esas condiciones meteorológicas concretas.

La potencia total producida en el cuadrado de la grilla con ubicación (s) se calculó según la ecuación (1), donde N_m es el número de módulos que pueden instalarse dentro del área útil $A_{FV(s)}$ de los tejados en el cuadrado de la grilla de ubicación (s); $P_{mpp(s)}$ es la potencia en el punto de máxima potencia calculado por el modelo SAPM utilizando los datos meteorológicos de la ubicación (s) en el tiempo (t), y f_p es el factor de pérdida. El número de módulos N_m se calculó según la ecuación (2), donde $A_{FV(s)}$ es el área útil y A_m es la superficie de un módulo FV. El área útil $A_{FV(s)}$ se calculó según la ecuación (3), donde $A_{T(s)}$ es el área de los tejados total disponible en el cuadrado de la grilla de ubicación (s), y f_u es el factor de utilización.

$$P_{total(s)}(t) = N_m \cdot P_{mpp(s)}(t) \cdot (1 - f_p) \quad (1)$$

$$N_m = A_{FV(s)} / A_m \quad (2)$$

$$A_{FV(s)} = A_{T(s)} \cdot F_u \quad (3)$$

El proceso descrito anteriormente se repitió para cada cuadrado de la grilla del cantón Quito. Posteriormente, las series de tiempo de producción de energía resultantes asociadas a las coordenadas geográficas específicas del centroide del cuadrado de la grilla se recopilaron en un archivo NetCDF.

La producción anual de energía E_{anual} en el área de estudio se calculó según la ecuación (4), donde y equivale a 8760 horas en un año y k representa el número total de grillas dentro del área de estudio

$$E_{anual} = \sum_{s=1}^k \sum_{t=0}^y P_{total(s)}(t) \quad (4)$$

• Evaluación económica

La factibilidad económica de la tecnología solar FV depende de la posibilidad de sustituir una fuente de electricidad existente por la procedente de un sistema FV, lo que comúnmente se evalúa comparando el costo nivelado de electricidad

(LCOE) con la tarifa de electricidad (19), y se calcula según la ecuación (5).

$$LCOE = \frac{\left(CAPEX + \sum_{n=1}^N \frac{OPEX}{(1+r)^n} \right) \cdot P_i}{\sum_{n=1}^N \frac{E_o \cdot (1-D)^n}{(1+r)^n}} \quad (5)$$

donde, $CAPEX$ es la inversión inicial total, $OPEX$ son los costos de operación y mantenimiento anuales, P_i es la capacidad total instalada, E_o es la producción anual inicial, r es la tasa de descuento, D es la tasa de degradación del sistema, n es el año analizado, y N es el tiempo de vida útil del sistema FV (22).

Siguiendo las sugerencias de Tjengdrawira et al. (22), el LCOE se calculó bajo tres escenarios financieros, denominados bajo, medio y alto, en los cuales se utilizaron diferentes valores para $CAPEX$, $OPEX$ y r , que fueron seleccionados en base a múltiples fuentes bibliográficas resumidas en la Tabla 2.

Parámetro	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Referencia
CAPEX	USD/kWp	1110	1433	1970	(23) (24) (25)
OPEX	USD/kWp	11.10	14.33	19.70	(25,26)
Tasa de descuento	%	7.00	8.68	10.71	(25) (27) (10)
Tasa de degradación	%	0.5	0.5	0.5	(22) (19)
Vida útil	años	25	25	25	(22)

Tabla 2. Parámetros de entrada para la evaluación económica bajo tres escenarios financieros.

Para el análisis de la factibilidad económica se asumió una tarifa eléctrica residencial representativa en el cantón Quito, la cual fue calculada en base a un consumo mensual representativo en el área de estudio, previamente calculada por Salazar (28), y siguiendo el método utilizado por Benalcázar et al. (25) para el cálculo de las tarifas adicionales debido a servicios de comercialización y alumbrado público, que normalmente son incluidas en la factura final de electricidad de los usuarios residenciales en Ecuador. La facturación final también puede incluir diferentes subsidios (29), sin embargo éstos no fueron tomadas en cuenta en este estudio.

La Tabla 3 muestra los valores utilizados para el cálculo y la tarifa representativa asumida para este estudio. Nótese que las tarifas de

comercialización y alumbrado público mostradas son solo una aproximación, ya que las mismas se pagan mensualmente independientemente del consumo.

Parámetro	Unidad	Valor
Consumo representativo	[kWh / mes]	116.00 ^a
Tarifa base	[USD cent / kWh]	8.3 ^b
Comercialización	[USD / consumidor / mes]	1.414
	[USD cent / kWh]	1.22
Alumbrado público	[USD / consumidor / mes]	1.5
	[USD cent / kWh]	1.29
Tarifa representativa	[USD cent / kWh]	10.81

Tabla 3. Tarifa eléctrica residencial representativa en el cantón Quito asumida en este estudio. Notas: ^a Consumo mensual representativo según Ref. (28). ^b Tarifas reguladas en 2019 según Ref. (29) de acuerdo al consumo mensual representativo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación geoespacial muestran un área total disponible de 61 km² en tejados y terrazas del cantón Quito. La distribución espacial de esta superficie se muestra en la Figura 4, donde se puede observar que la misma está altamente concentrada (~89%) entre las latitudes 0.5°S y 0°N, donde se encuentran las parroquias urbanas. Una menor superficie disponible se observa al este y norte del cantón, donde predomina la zona rural.

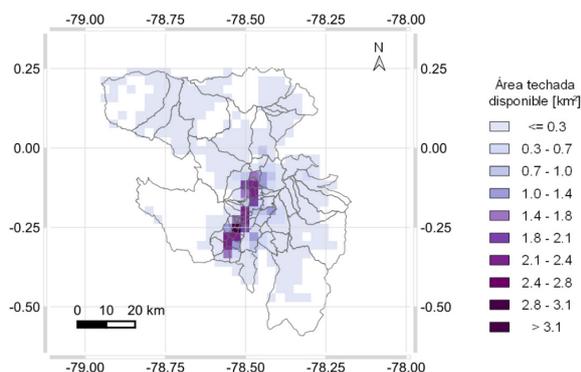


Figura 4. Distribución espacial del área de tejados disponible en el cantón Quito con una resolución de grilla de 3x3 km. Fuente: Cálculos propios, datos recuperados de la Ref. (13).

La Tabla 4 muestra un resumen del potencial técnico de sistemas FV sobre tejado estimado en Quito, suponiendo que el 100% del área resultante es utilizada para la instalación de sistemas FV. Se puede observar que podría instalarse una capacidad total de 5403.74 MWp, la cual generaría un total de 7851.51 GWh al año, debido al alto nivel de radiación global total

promedio en el área de estudio (4.3 kWh/m²/d). Adicionalmente, se puede observar que se requeriría aproximadamente el 43% del potencial técnico estimado para cubrir el consumo anual de electricidad en Quito registrado en el 2019 (30).

Parámetro	Unidad	Valor
Capacidad total estimada ^a	[MWp]	5403.74
Producción de electricidad anual estimada ^b	[GWh/a]	7851.51
Consumo anual de electricidad en 2019 ^c	[GWh/a]	3375.50
Potencial técnico necesario para cubrir el consumo anual ^d	[%]	42.99

Tabla 4. Resumen de los resultados del análisis del potencial técnico de sistemas FV sobre tejado estimado en el cantón Quito. Notas: ^a Capacidad total estimada que podría ser instalada en tejados según las suposiciones consideradas para la evaluación técnica. ^b Producción de electricidad anual estimada si se desarrollara el 100% del área útil de tejados. ^c Consumo total anual de electricidad en 2019 de todos los grupos de consumo (residencial, comercial, industrial, alumbrado público y otros) reportado en la Ref. (30). ^d Basado en las estadísticas de consumo eléctrico en 2019 reportadas en la Ref. (30) y suponiendo el uso del potencial técnico total estimado.

En la Figura 5 se presenta la comparación entre la generación estimada por mes y el consumo eléctrico registrado en 2019, lo cual evidencia que la generación FV estimada supera el consumo eléctrico durante todo el año. También se observa que el consumo mensual es relativamente estable, contrario a la generación FV que muestra una variación estacional, la cual está relacionada con la variabilidad espacial y temporal del recurso solar previamente investigada por Tapia et al. (12).

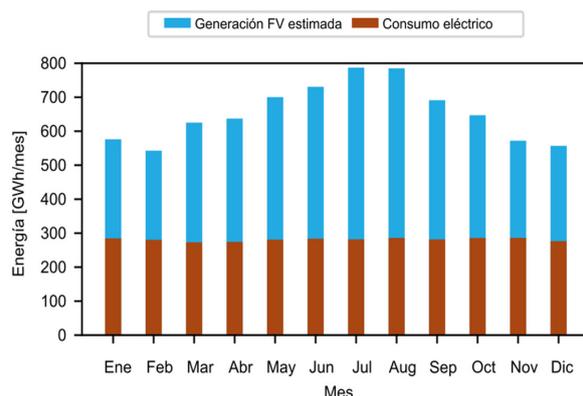


Figura 5. Comparación de la generación FV mensual estimada en tejados del cantón Quito con respecto al consumo eléctrico mensual durante 2019 de todos los grupos de consumo (residencial, comercial, industrial, alumbrado público y otros). Fuente: Cálculos propios y estadísticas de consumo en 2019 reportados en la Ref. (30).

Un análisis más detallado de la generación anual estimada por parroquias del cantón Quito se presenta en la Figura 6. Adicionalmente, la Figura



7 muestra una comparación entre la generación anual estimada y el consumo eléctrico en 2019 desagregado por tipo de consumo en cada parroquia. De estas figuras se observa que las parroquias Calderón y Conocoto, que son parroquias periurbanas densamente pobladas, tienen la mayor generación anual (570.95 y 413.09 GWh/a, respectivamente). Además, en la Figura 7 se destaca que el potencial estimado supera el consumo anual de electricidad de casi todas las parroquias, con excepción de la parroquia Ñaquito, que tiene un alto consumo comercial en Quito según las estadísticas de consumo eléctrico en 2019 (30).

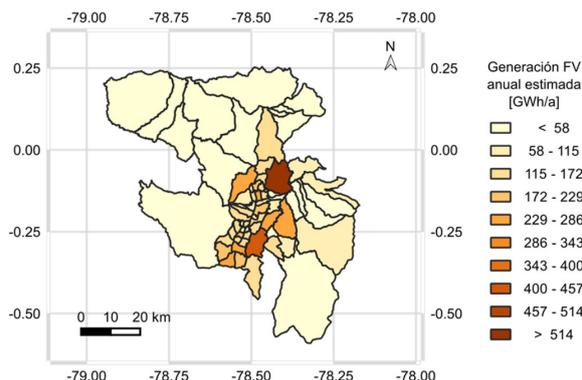


Figura 6. Generación FV anual estimada en tejados agregada por parroquias del cantón Quito. Fuente: Cálculos propios.

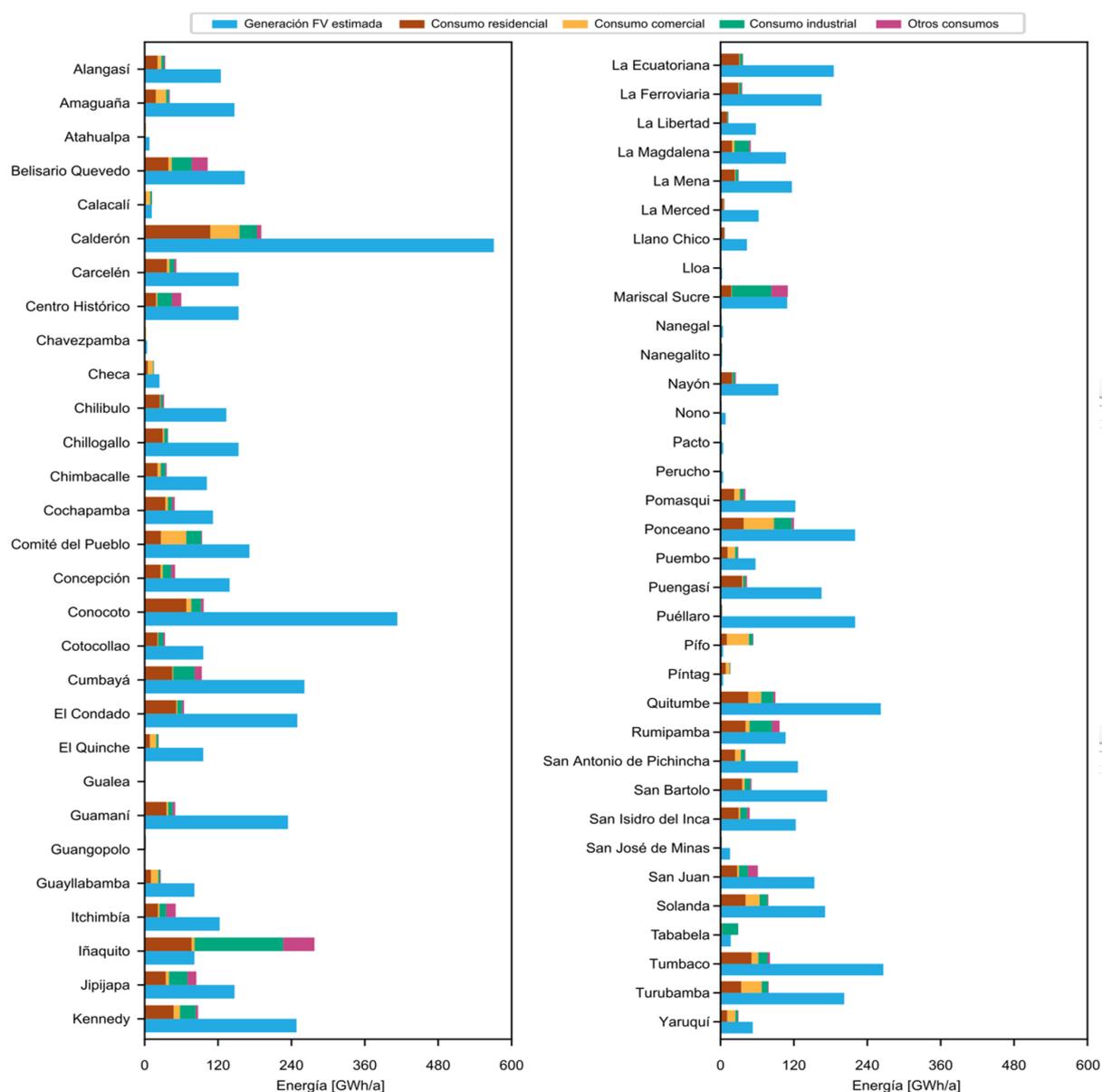


Figura 7. Comparación de la generación fotovoltaica anual estimada en tejados y el consumo de electricidad en las parroquias urbanas y rurales del cantón Quito desagregado por grupos de consumo (residencial, comercial, industrial y otros). Fuente: Cálculos propios y estadísticas de consumo en 2019 tomadas de Ref. (30).

Debido a que una mayor penetración de la energía FV puede provocar inestabilidad en la red y aumentar considerablemente los requisitos de almacenamiento y respaldo del sistema, es necesario examinar las series temporales de la generación FV estimada en tejados con respecto a la demanda de electricidad a nivel horario (31). Para ofrecer una visión general de esta comparación, utilizamos un perfil típico de demanda horaria de usuarios residenciales y comerciales en Quito (25).

Como se puede observar en la Figura 8, la generación FV estimada no coincide con los periodos de demanda según el perfil típico. En el caso de los usuarios residenciales, la curva de demanda muestra un pequeño pico alrededor a las 07:00 y otro de mayor magnitud a las 19:00, mientras que la generación FV alcanza su mayor producción entre las 10:00 y las 14:00, cuando la demanda residencial es baja. En el caso de los usuarios comerciales, el primer pico de demanda se produce entre las 09:00 y las 11:00, que corresponde a las horas de máxima generación FV; sin embargo, el segundo pico se produce entre las 17:00 y las 19:00, cuando la producción FV está disminuyendo.

Esta comparación sugiere que el potencial técnico estimado de la energía FV sobre tejado no podría aprovecharse completamente sin el uso de sistemas de almacenamiento o conexiones para inyectar el exceso de energía FV sobre tejados a la red eléctrica.

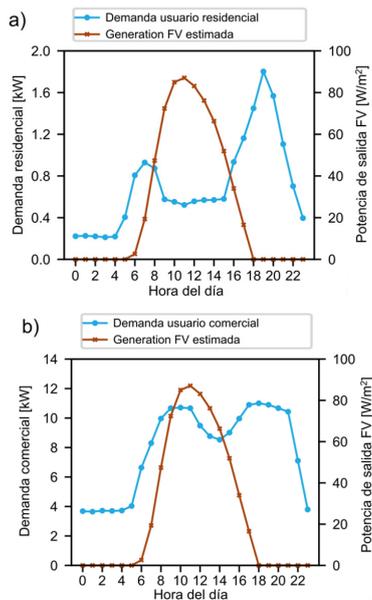


Figura 8. Comparación de la potencia de salida FV media horaria estimada por área de tejado con respecto al perfil típico de demanda horaria en Quito para (a) usuarios residenciales (consumo medio mensual de 500 kWh) y (b) usuarios comerciales (potencia contratada 11 kW). Fuente: Cálculos propios y datos de consumo tomados de la Ref. (25).

Con respecto al análisis económico, en la Tabla 5 se muestra los valores calculados de LCOE considerando los tres escenarios financieros. Una comparación entre estos resultados y la tarifa eléctrica residencial representativa (ver Tabla 3) sugieren que la generación FV es competitiva en el área de estudio en el escenario bajo. Sin embargo, en los escenarios medio y alto, el costo de generación FV estimado en términos de LCOE es superior a la tarifa eléctrica representativa para usuarios residenciales en el cantón. Esto se debe principalmente a los subsidios para la generación de electricidad en Ecuador, reflejados en tarifas de electricidad más bajas para los usuarios finales. Sin embargo, según las proyecciones del Banco Interamericano de Desarrollo los costos de inversión de los proyectos FV disminuirá progresivamente (950 USD/kWp en Ecuador para el 2023) (32), lo cual se reflejaría en valores más competitivos de LCOE para la proyectos FV en tejados.

Escenario	LCOE [USD cent/kWh]
Bajo	7.7
Medio	11.3
Alto	17.8

Tabla 5. LCOE estimado de la generación FV en tres escenarios financieros si se explotara el 100% del área de tejados utilizable en el cantón Quito. Fuente: Cálculos propios.

IV. CONCLUSIONES

El cantón Quito en Ecuador cuenta con un gran recurso solar debido a su privilegiada posición geográfica. Según los resultados de este trabajo, el potencial técnico de sistemas FV en tejados podría cubrir 2.3 veces el consumo de electricidad registrado en el 2019 en el cantón. Debido a los altos niveles de radiación y a la baja variabilidad intra-anual observada en el área de estudio, el recurso solar podría ser aprovechado durante todo el año. Sin embargo, debido a que el pico de demanda de electricidad de usuarios residenciales y comerciales se produce fuera del periodo de máxima producción FV, sería necesario utilizar sistemas de almacenamiento o conexiones para inyectar la generación excedente a la red eléctrica.

Según los resultados de la evaluación económica, la tecnología FV en tejados es competitiva únicamente en el escenario financiero que considera costos de inversión iniciales optimistas y una tasa de descuento baja. Sin embargo, en los escenarios financieros medio y alto, el costo de generación FV estimado es mayor a la tarifa



eléctrica de referencia para usuarios residenciales.

Por lo tanto, sería necesario el establecimiento de estrategias para crear condiciones económicas competitivas con el fin de fomentar el interés del usuario final a la hora de instalar sistemas fotovoltaicos sobre tejado. En ese sentido, se espera que el actual marco regulatorio en Ecuador para el autoconsumo mediante sistemas de energía distribuida bajo un esquema de balance energético neto mensual proporcione incentivos económicos a los usuarios y apoye la penetración de la tecnología solar FV en tejados. De esta forma se podría explotar el gran potencial técnico estimado con el fin de descentralizar la generación eléctrica y así desplazar la generación térmica

basada en combustibles fósiles.

Con respecto a la metodología utilizada en este estudio, cabe destacar que la utilización de mapas digitales catastrales para la evaluación geoespacial, así como datos meteorológicos en grilla y a nivel horario conduce a estimaciones más realistas en comparación con métodos que se basan únicamente en estadísticas para la evaluación del potencial técnico de sistemas FV en tejados. Futuras investigaciones podrían utilizar datos en mayor resolución de las edificaciones y métodos de evaluación de sombras para explorar con mayor detalle el potencial técnico de las zonas con alta densidad de tejados identificadas en este estudio.

VI. REFERENCIAS

1. IRENA. Renewable capacity highlights 2021 [Internet]. 2022 [cited 2023 Dec 11]. Available from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_-RE_Capacity_Highlights_2022.pdf
2. Jaeger-Waldau A. PV Status Report 2018 [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2018. Available from: <https://dx.doi.org/10.2760/826496>
3. IRENA. Rise of Renewables in cities: Energy solutions for the urban future [Internet]. 2020 [cited 2023 Dec 11]. Available from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Oct/IRENA_Renewables_in_cities_2020.pdf
4. Ordoñez F, Vaca-Revelo D, Lopez-Villada J. Assessment of the Solar Resource in Andean Regions by Comparison between Satellite Estimation and Ground Measurements: Study Case of Ecuador. *J Sustain Dev* [Internet]. 2019 Jul 30;12:62. Available from: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jsd/article/view/0/40301>
5. ARCERNNR. Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2020 [Internet]. 2021 [cited 2021 Feb 16]. Available from: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
6. ARCERNNR. Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021 [Internet]. 2021 [cited 2021 Feb 13]. Available from: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/res_nro__arcernnr-013-2021.pdf
7. Salazar S, Arcos H. Análisis Técnico y Económico de la Implementación del Net Metering para diferentes tipos de Consumidores de Electricidad en el Ecuador. *Rev Técnica "energía"* [Internet]. 2021 Jul 29;18(1):86–94. Available from: <http://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/464>
8. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Censo de Población y Vivienda [Internet]. 2010 [cited 2021 Apr 28]. Available from: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
9. IGM. Geoportal IGM [Internet]. 2021 [cited 2021 Jan 26]. Available from: <http://www.geoportaligm.gob.ec>
10. Dávila R, Vallejo D. Evaluación del potencial técnico y económico de la tecnología solar fotovoltaica para la microgeneración eléctrica en el sector residencial del distrito metropolitano de Quito [Internet]. Escuela Politécnica Nacional; 2019. Available from: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf>
11. Sengupta M, Xie Y, Lopez A, Habte A, Maclaurin G, Shelby J. The National Solar Radiation Data Base (NSRDB). *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018 Jun 1 [cited 2020 Apr

- 10];89:51–60. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211830087X?via%3Dihub#bib4>
12. Tapia M, Heinemann D, Ballari D, Zondervan E. Spatio-temporal characterization of long-term solar resource using spatial functional data analysis: Understanding the variability and complementarity of global horizontal irradiance in Ecuador. *Renew Energy* [Internet]. 2022;189:1176–93. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.049>
 13. Secretaría general de planificación. Geoportal del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito [Internet]. 2021 [cited 2021 May 6]. Available from: <http://geoportal.quito.gob.ec/smiq/>
 14. QGIS Association. QGIS Geographic Information System [Internet]. 2022. Available from: <http://www.qgis.org/>
 15. Holmgren WF, Hansen CW, Mikofski MA. pvlib python: a python package for modeling solar energy systems. *J Open Source Softw* [Internet]. 2018;3(29):884. Available from: <https://doi.org/10.21105/joss.00884>
 16. Jacobson MZ, Jadhav V. World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels. *Sol Energy* [Internet]. 2018;169(April):55–66. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.030>
 17. Zalamea-León E, Mena-Campos J, Barragán-Escandón A, Parra-González D, Méndez-Santos P. Urban photovoltaic potential of inclined roofing for buildings in heritage centers in equatorial areas. *J Green Build* [Internet]. 2018 Jun [cited 2018 Sep 10];13(3):45–69. Available from: <http://www.journalofgreenbuilding.com/doi/10.3992/1943-4618.13.3.45>
 18. Dobos A. PVWatts Version 5 Manual - Technical Report NREL/TP-6A20-62641 [Internet]. National Renewable Energy Laboratory. 2014. Available from: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62641.pdf>
 19. Bódis K, Kougiás I, Jäger-Waldau A, Taylor N, Szabó S. A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2019 Oct;114. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119305179>
 20. Morocho I, Ríos K. Estudio técnico para incorporar generación distribuida fotovoltaica en el sector residencial del cantón Cuenca [Internet]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca; 2015. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7516>
 21. King DL, Boyson WE, Kratochvil JA. Photovoltaic array performance model. Tech. Rep. SAND2004-3535 [Internet]. 2004. Available from: <https://www.osti.gov/biblio/919131>
 22. Tjengdrawira C, Richter M, Theologitis IT. Best Practice Guidelines for PV Cost Calculation [Internet]. Accounting for Technical Risks and Assumptions in PV LCOE. Deliverable D3.2. 2016. Available from: http://www.solarbankability.org/fileadmin/sites/www/files/documents/20161213_649997_Best_Practice_Guidelines_for_PV_Cost_Calculation_20161213.pdf
 23. Bermeo I, Matute L, Barragán-Escandón E, Serrano-Guerrero X, Zalamea-León E. Technical and economic feasibility study of a solar plant on a commercial surface in Azogues, Ecuador. *Renew Energy Power Qual J* [Internet]. 2021 Sep;19(19):177–83. Available from: <https://www.icrepq.com/icrepq21/250-21-bermeo.pdf>
 24. Barragán-Escandón A, Zalamea-León E, Terrados-Cepeda J. Incidence of Photovoltaics in Cities Based on Indicators of Occupancy and Urban Sustainability. *Energies* [Internet]. 2019 Feb 28;12(5):810. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/810>
 25. Benalcazar P, Lara J, Samper M. Distributed Photovoltaic Generation in Ecuador: Economic Analysis and Incentives Mechanisms. *IEEE Lat Am Trans* [Internet]. 2020 Mar;18(03):564–72. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9082728/>
 26. Dávi GA, Caamaño-Martín E, Rütther R, Solano J. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. *Energy Build* [Internet]. 2016 May;120:19–29. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816302146>



27. Trejo R. Estudio de factibilidad técnica económica para la implementación de un sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la facultad de ingeniería en ciencias aplicadas [Internet]. Universidad Técnica del Norte; 2021. Available from: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11213>
28. Salazar G. Análisis técnico y económico de la implementación del net metering para diferentes tipos de consumidores de electricidad en el Ecuador [Internet]. Escuela Politécnica Nacional; 2020. Available from: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20937>
29. ARCONEL. Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado [Internet]. 2019 [cited 2021 Oct 27]. Available from: https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/P-Tarifario-SPEE-2019_Codif.pdf
30. ARCERNNR. Reportes de información estadística del sector eléctrico [Internet]. 2022 [cited 2021 Feb 8]. Available from: <http://reportes.controlrecursosyenergia.gob.ec>
31. Ramirez Camargo L, Zink R, Dorner W, Stoeglehner G. Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale. *Comput Environ Urban Syst* [Internet]. 2015;52:58–69. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.03.002>
32. García de Fonseca L, Parikh M, Manghani R. Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina [Internet]. Juan Paredes, editor. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo División de Energía; 2019 Dec [cited 2020 Apr 14]. Available from: <https://publications.iadb.org/es/evolucion-futura-de-costos-de-las-energias-renovables-y-almacenamiento-en-america-latina>

EVALUACIÓN DEL SÍNDROME METABÓLICO A TRAVÉS DE PRUEBAS DE LABORATORIO EN ADULTOS MAYORES DEL CANTÓN AMBATO

Evaluation of the metabolic syndrome through laboratory tests in elderly adults in Ambato city

 Freire Robalino Jazmín Alexandra*
 Reales Chacón Lisbeth Josefina
 Ramos Ramírez Martha Cecilia

Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud, Laboratorio Clínico / Fisioterapia, Ambato, Ecuador.

*freirejazmin6@gmail.com

RESUMEN

El síndrome metabólico es un conjunto de alteraciones que involucra mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus y está asociado a trastornos del metabolismo de carbohidratos y lípidos, presión arterial elevada y sobrepeso en especial en la población adulta mayor.

El presente artículo busca plasmar la evaluación del síndrome metabólico a través de pruebas de laboratorio realizada en adultos mayores del cantón Ambato. Los parámetros de laboratorio que se tomaron como parte de este estudio fueron: glucosa en ayunas, niveles de colesterol HDL y triglicéridos, acompañados de niveles de presión arterial que se rigen con base en los criterios diagnósticos propuestos por la National Cholesterol Education Programs Adults Treatment Panel III Report (NCEP- ATP III). La metodología empleada tuvo un enfoque cuantitativo permitiéndonos relacionar los parámetros clínicos con las pruebas de laboratorio.

Dentro de los resultados obtenidos, se puede mencionar que los adultos mayores del sexo femenino, fueron los más vulnerables a desarrollar síndrome metabólico con un 55,9% de los cuales presentaban como antecedentes personales diabetes en un (48.5%) y enfermedades cardiovasculares en un (19,1 %) aumentando más el riesgo de padecer este síndrome.

Palabras Clave: *Síndrome metabólico, obesidad, diabetes, adulto mayor, diagnóstico.*

ABSTRACT

Metabolic syndrome is a set of disorders that involves a greater risk of suffering from cardiovascular accidents, diabetes mellitus and is associated with disorders of carbohydrate and lipid metabolism, high blood pressure and overweight, especially in the elderly population.

This article seeks to describe the evaluation of metabolic syndrome through laboratory tests carried out in elderly adults in Ambato city. The laboratory parameters that were taken as part of this study were: fasting glucose, HDL cholesterol and triglyceride levels, accompanied by blood pressure levels that are governed based on the diagnostic criteria proposed by the National Cholesterol Education Programs Adults Treatment Panel. III Report (NCEP- ATP III). The methodology used had a quantitative approach allowing us to relate clinical parameters with laboratory tests.

Among the results obtained, it can be mentioned that female elderly adults were the most vulnerable



to developing metabolic syndrome with 55.9% of whom had diabetes (48.5%) and illnesses (19.1%) as a personal history. cardiovascular diseases further increasing the risk of suffering from this syndrome.

Keywords: *Metabolic syndrome, obesity, diabetes, elderly adult, diagnosis.*

I. INTRODUCCIÓN

El síndrome metabólico se ha convertido en un desafío para la salud pública, especialmente en la población de adultos mayores en Ecuador, siendo el grupo más vulnerable donde los procesos biológicos propios del envejecimiento juegan un papel preponderante. (1) Esta condición se caracteriza por la presencia de varios factores de riesgo tanto a nivel metabólico, como la obesidad abdominal, la hipertensión arterial, la dislipidemia y la resistencia a la insulina. (2). Estos factores aumentan significativamente el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y otras complicaciones de salud. (3). La OMS indica que actualmente las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte en todo el mundo donde cada año se cobran alrededor de 17,9 millones de vidas y se encuentra estrechamente relacionado con la obesidad y patologías como la diabetes mellitus razón por la que se considera como la epidemia del siglo XXI. (4)

A nivel mundial los criterios diagnósticos empleados en la evaluación del síndrome metabólico se lo han realizado por diversas organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), Adult Treatment Panel III (ATP III), American Association of Clinical Endocrinology (AACE), IDF, entre varias. Entre los criterios y definiciones más empleados en publicaciones y estudios son los de la International Diabetes Federation (IDF) y la National Cholesterol Education Programs Adults Treatment Panel III Report (NCEP- ATP III). (5)

Los criterios diagnósticos de la National Cholesterol Education Programs Adults Treatment Panel III Report (NCEP- ATP III) para el síndrome metabólico consiste en la existencia de 3 de los 5 factores: perímetro de la cintura en mujeres >88 cm y hombres (hispanos) >94 cm, triglicéridos ≥ 150 mg/dl, c- HDL: < 50 mg/dl en mujeres y < 40 mg/dl en hombres, presión arterial $\geq 130/85$ mm/Hg, glicemia en ayuna ≥ 100 mg/dl o en tratamiento para glicemia elevada. (6)

Además, expertos señalan que se debe considerar ciertos factores de riesgo adicionales que pueden favorecer la aparición del síndrome metabólico como: la resistencia a la insulina, hiperinsulinemia, además de la valoración física y la historia clínica de cada paciente permitiendo así poder realizar un mejor diagnóstico especialmente en aquellas personas con sobrepeso, diabetes o que presenten enfermedades cardiovasculares como la hipertensión. (7)

Las cifras de la prevalencia de síndrome metabólico a nivel global según la Organización Mundial de la Salud son del 36.8 %, el 58.2 % bajo los criterios de la Federación Internacional de Diabetes y el 53.5 % según el Programa Nacional de Educación sobre el Colesterol de los cuales hay un ligero aumento en el sexo masculino con un 54.1 % en comparación con las mujeres con un 52.8 %. (8)

Según el Consenso Latinoamericano de hipertensión en pacientes con diabetes tipo 2 y síndrome metabólico, en Latinoamérica va en aumento, donde la hipertensión y el sobrepeso son los principales causantes, varios estudios han reportado gran prevalencia en adultos entre el 25 a 45 % en zonas urbanas y rurales. En aquellas personas con enfermedades cardiovasculares e infarto agudo de miocardio la prevalencia es aún más alta de un 75% de acuerdo a los criterios diagnósticos empleados. (9)

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT-ECU 2011-2013 en nuestro país la prevalencia de síndrome metabólico es de 27.7% en la población y corresponde a individuos entre los 50 y 59 años de edad de los cuales el 29.9% son mujeres y la prevalencia en hombres corresponde al 48.4%. estas cifras van incrementándose conforme aumenta la edad y el estilo de vida en cada individuo. (10)

En el Ecuador según la encuesta realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) en 2011 indica que el 59% de la población adulta

mayor de 61 años en adelante presenta sobrepeso y obesidad y el 62.8% corresponde a la población de 20 a 60 años, dando un total de 5.558.185 de la población con este padecimiento. (4)

Asimismo, el 9% de la población total en Ecuador pertenece a este grupo de edad, y se espera que esta cifra siga aumentando en los próximos años. (11) A medida que la esperanza de vida aumenta y las condiciones de vida mejoran, se presentan nuevos desafíos para el sistema de salud en el manejo de las enfermedades crónicas y el síndrome metabólico en particular. (12)

El estilo de vida moderno, los cambios en los hábitos alimentarios y la disminución de la actividad física son algunos de los factores que contribuyen al aumento del síndrome metabólico en los adultos mayores; así como los cambios propios del envejecimiento. (5) Además, la falta de conciencia sobre la importancia de llevar una vida saludable y el acceso limitado a servicios de atención médica adecuados son obstáculos significativos para abordar esta problemática. (13)

En Ecuador la prevención, el diagnóstico temprano y el tratamiento del síndrome metabólico en adultos mayores son fundamentales para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y otras complicaciones que van de la mano con el síndrome por lo que requiere un enfoque integral que incluya educación para la salud, promoción de estilos de vida saludable, acceso a atención médica y apoyo social. (14)

Desde el punto de vista clínico las pruebas de laboratorio son la principal herramienta para el diagnóstico oportuno del síndrome metabólico, entre las primordiales se encuentran la glucosa basal la cual nos permite evaluar sus niveles en sangre después de un ayuno de 8 a 14 horas, la prueba de colesterol, triglicéridos que abarcan el perfil lipídico la cual mide los niveles de grasas en sangre entre ellos el colesterol HDL que es uno de los marcadores predictivos junto a la prueba de proteína C reactiva la cual permite identificar el riesgo de padecer diabetes mellitus o enfermedad cardiovascular en el futuro. (15)

Entre los métodos para un buen diagnóstico adicional a la evaluación física y exploratoria está la realización de las pruebas de laboratorio en este caso las más importantes: glucosa basal, colesterol total, C- HDL, triglicéridos e incluir

la prueba de glucosa glicosilada (HbA1) para evaluar la resistencia a la insulina especialmente en pacientes con diabetes o se sospeche que lo presenten. (16)

El objetivo de este estudio fue evaluar el síndrome metabólico en adultos mayores a través de pruebas de laboratorio clínico de acuerdo a los criterios diagnósticos establecidos por la National Cholesterol Education Programs Adults Treatment Panel III Report (NCEP- ATP III) relacionando los parámetros clínicos, sociodemográficos y de laboratorio.

Siendo finalmente uno de los propósitos de este artículo dar a conocer a la colectividad los resultados obtenidos en especial a los estudiantes que forman parte de la vida universitaria para de esta manera concientizarlos sobre la problemática de salud que ha cobrado vidas por enfermedades correlacionadas como diabetes que hoy en la actualidad ocupa el lugar número dos en Ecuador, dejando además como información de interés para la toma de decisiones dentro de los establecimientos educativos que se apliquen programan de prevención más que de tratamiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Participaron en el estudio 68 adultos mayores de los cuales (22) fueron hombres y (46) mujeres entre 60 a 82 años de edad pertenecientes al Cantón Ambato específicamente en las parroquias de Atahualpa y Quisapincha, durante los meses de septiembre y octubre del 2022, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia con un grupo de 68 adultos mayores.

La investigación se desarrolló como parte del proyecto de investigación: "Estrategia de intervención multidisciplinaria de salud en pacientes con neuropatía periférica diabética para promover su calidad de vida. Cantón Ambato", aprobado en Resolución Nro. UTA-CONIN-2022-0169-R a cargo de la Doctora Lisbeth Reales, donde se aplicó el consentimiento informado el cual fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ciencias de la Salud, se tomó criterios de inclusión como: la edad mayor a 65 años, antecedentes clínicos de algún familiar como diabetes, hipertensión. Por otra parte se aplicó como criterio de exclusión, a aquellas personas



que no firmaron el consentimiento informado.

Para la recolección de datos se realizó fichas clínicas con los datos de cada uno de los pacientes donde se incluyeron mediciones antropométricas, datos personales y familiares.

Evaluación antropométrica, la toma del peso se realizó en la balanza médica Camry modelo BR2016-07^a, la talla se determinó con un tallímetro marca Seca 216, con una cinta métrica de determinó el valor de la circunferencia abdominal tomando en cuenta desde la altura de la línea media de la axila en el punto imaginario entre el punto más alto de la cresta ilíaca y el inferior de la última costilla. El índice de masa corporal (IMC) se realizó a través del cálculo mediante la fórmula peso/ talla kg/m² tomando en cuenta la clasificación de la OMS en: peso normal (18.5 a 24.9 Kg/m²), sobrepeso (25.0 a 29.9 Kg/m²) y obesidad (> 30 Kg/m²). Dado el aumento de grasa corporal en los adultos mayores, la OPS recomienda usar otros puntos de corte para clasificarlo. La normalidad se considera entre 22.9 y 27.9 Kg/ m² (17)

La evaluación de la presión arterial (PA) se realizó mediante un tensiómetro calibrado y validado, expresado en milímetros de mercurio (mmHg), los pacientes estuvieron sentados de manera relajada en una silla con los pies planos en el piso y la espalda apoyada al espaldar.

Los relacionado a las pruebas de laboratorio se tomó las muestras en ayunas, a cada paciente se lo extrajo sangre por venopunción antecubital en tubos tapa amarilla de 5 ml, se utilizó vacutainer y se analizó los siguientes mensurandos en suero: glucosa en ayunas, colesterol total, c-HDL y triglicéridos, todos estos analisis mediante el uso del equipo Mindray BS-240 Pro un analizador automatizado que presenta un método de fotometría de absorbancia para su lectura.

Criterios diagnósticos: la evaluación y diagnóstico del SM se determinó mediante los criterios de la de National Cholesterol Education Programs Adults Treatment Panel III Report (NCEP- ATP III) que consiste en la presencia de 3 de los 5 parámetros expuestos anteriormente.

Una vez procesadas las muestras se procedió a entregar a cada paciente los resultados de las pruebas donde la interpretación de los mismos se realizó por un médico general donde se les dio las respectivas indicaciones, charlas acerca del tema

y recomendaciones para mejorar su alimentación y estilo de vida.

Análisis estadístico: el análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 29.0. donde los datos de cada una de las variables de estudio tomando en cuenta los criterios diagnosticos de la ATP III en relación con la edad y sexo se obtuvieron frecuencias relativas y absoluta con sus respectivos resultados expresados en porcentajes etiquetado con los que si presentan y no síndrome metabólico.

Criterios diagnósticos del National Cholesterol Education Program del Síndrome metabólico (NCEP ATP III,2002)	
Factor de riesgo	Valor diagnóstico de referencia
Obesidad abdominal (circunferencia de cintura)	
Hombre	>102 cm
Mujer	>88 cm
Triglicéridos	>150mg/dl
c-HDL	
Hombre	<40 mg/dl
Mujer	<50 mg/dl
]Tensión arterial	130/80 mmHg
Glucemia en ayunas	110 mg/dl
• Se establece diagnóstico cuando se encuentran >3 de estos factores de riesgo	

Tabla 1. Criterios diagnósticos según la ATP III para el Síndrome metabólico.

III. RESULTADOS

La muestra estuvo constituida por 68 adultos mayores entre los 60 a 82 años, de los cuales el 67,6% eran del sexo femenino y el 32,4 % eran del sexo masculino, donde se obtuvo con base en los criterios diagnósticos de la ATP III el 55.9 % en su mayoría del sexo femenino, que cumplieron con los parámetros para presentar síndrome metabólico, en relación con las medidas antropométricas y el IMC se obtuvo que el 64,7 % presentaron sobrepeso y aquellos que mostraron presión arterial elevada fue el 47,1% en su mayoría eran mujeres.

Además, se observó una prevalencia del 48,5 % en los adultos mayores que presentaban diabetes como antecedentes personales.

Se evaluó las pruebas de laboratorio donde se observó una elevación en triglicéridos de 58,8 %, glucosa 63,2 % a diferencia del 33.82 % de c-HDL donde se observó alterado, viéndose mayor número en el sexo femenino.

variable	frecuencia	%
Sexo		
Mujeres	46	67,6
Hombres	22	32,4
Total	68	100,0
Estado civil		
casado	48	70,6
soltero	10	14,7
divorciado	10	14,7
Antecedentes personales		
diabetes	33	48,5
ninguno	22	32,4
cardiovasculares	13	19,1

Tabla 2. Características sociodemográficas y antecedentes personales de enfermedad.

En la Tabla 2 se observó las características sociodemográficas donde el 67,6 % correspondía al mayor número de pacientes del sexo femenino, el 70,6 % eran de estado civil casado y entre los antecedentes personales más relevantes estaba el 48,5% que correspondía a pacientes con diabetes y el 19,1% presentaban problemas cardiovasculares.

MENSURANDO	FRECUENCIA	%
Obesidad Abdominal		
valores altos	44	64,7
valores normales	24	35,3
Glucosa		
valores altos	43	63,2
valores normales	25	36,8
c-HDL		
valores altos	45	66,2
valores normales	23	33,8
Presión arterial		
Normal	36	52,9
Alto	32	47,1

Tabla 3. Frecuencias por mensurando de la población estudiada.

En los criterios diagnósticos del síndrome metabólico de la Tabla 3 se evaluó las frecuencias por mensurando de la población estudiada donde aquel que cumplía 3 de los parámetros ya formaba parte del grupo, donde se vio que el 64,7% presentaba un alto nivel de obesidad abdominal, el 63,2% presentaba niveles altos de glucosa, el colesterol HDL se vio alterado en un 33,82 % en los pacientes y el 52,9 % presentaba una presión arterial en valores normales.

Frecuencia del Síndrome metabólico - Sexo				
sexo	variable	Si	No	total
Hombres	Recuento	14	8	22
	% dentro de sexo	63,60%	36,40%	100,00%
	% dentro de Síndrome metabólico	36,80%	26,70%	32,40%
	% del total	20,60%	11,80%	32,40%
Mujeres	Recuento	24	22	46
	% dentro de sexo	52,20%	47,80%	100,00%
	% dentro de Síndrome metabólico	63,20%	73,30%	67,60%
	% del total	35,30%	32,40%	67,60%
total	Recuento	38	30	68
	% dentro de sexo	55,90%	44,10%	100,00%
	% dentro de Síndrome metabólico	100,00%	100,00%	100,00%
	% del total	55,90%	44,10%	100,00%

Tabla 4. Frecuencia del Síndrome metabólico - Sexo.

En la frecuencia de Síndrome metabólico de la Tabla 4 que se obtuvo en esta investigación de adultos mayores se observó que el 63,30 eran hombres % dentro del género que presentaba el síndrome, el 36,80 % mostró la frecuencia existente dentro del % de síndrome metabólico. En relación con las mujeres dentro del género el 52,20% presentaba el síndrome al igual que el 63,20% pertenecía al total del grupo con el síndrome.

IV. DISCUSIÓN

El síndrome metabólico es una agrupación de factores que se asocia a un gran riesgo de padecer diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares que en la actualidad aumentan las cifras de mortalidad en América Latina y todo el mundo, llamada la nueva pandemia del siglo XXI. (18)

Este estudio es uno de los primeros en el cantón Ambato donde se toma en cuenta a la población de adultos mayores para evaluar y diagnosticar síndrome metabólico, utilizando los criterios de organismos internacionales como del ATP III, donde la frecuencia encontrada en una investigación del Distrito de San Martín de Porres en Lima- Perú fue del 28,2 %, observándose cifras elevadas de los parámetros clínicos de glucosa, colesterol y triglicéridos al igual que en nuestro estudio causado por diferentes estilos de vida. (19)



Hay que tomar en cuenta que el síndrome metabólico viene asociada a varias patologías entre las más importantes y de gran preocupación a nivel mundial son las enfermedades cardiovasculares la cual se ve reflejada con una alta prevalencia, con respecto al IMC y la medida de la circunferencia de la cintura en este caso se observó que el 50% de los participantes presentaban sobrepeso y el 25% obesidad en el estudio publicado por la revista Eugenio Espejo en 2019 que se realizó a los trabajadores de la Empresa Eléctrica de Riobamba. El exceso de peso es un factor de riesgo para desarrollar varios procesos inflamatorios y metabólicos por eso el enfoque de prevención debe ir dirigido hacia conductas para cambiar malos hábitos alimenticios. (20)

Los resultados de este estudio reflejan que los adultos mayores y en especial del sexo femenino son los más vulnerables a desarrollar síndrome metabólico con un 55,9 % de los cuales 48,5 % presentan como antecedentes personales diabetes y el 19,1 % enfermedades cardiovasculares aumentando el riesgo de padecer este síndrome. Cabe mencionar que a diferencia de las mujeres los hombres también presentan este riesgo de padecerlo, pero en menor frecuencia.

Este estudio tuvo un muestreo no probabilístico donde al elegir adultos mayores de 65 años los resultados son aplicables solo a los 68 pacientes por ende la prevalencia será mayor por el efecto acumulativo de las comorbilidades que se encuentran relacionadas con el Síndrome metabólico. Si la muestra fuera con pacientes más jóvenes de 20 a 40 años la prevalencia de SM sería mucho menor.

En contraste en un estudio realizado a los trabajadores del hospital del Estado Aragua en Venezuela en 2006 indica que los criterios diagnósticos de la ATP III son una gran alternativa al momento de detectar tempranamente síndrome metabólico tanto en jóvenes como adultos mayores, donde tan solo se necesita que se cumplan 3 de los 5 criterios para su diagnóstico. (21)

En las mujeres entre los factores que predisponen el riesgo de padecer este síndrome en en 60% es la edad y la terminación de la etapa fértil la menopausia donde existe una transición hormonal propios de los cambios biológicos como

el aumento de grasa a nivel abdominal, alteración de los niveles de triglicéridos lo que propicia a padecer resistencia a la insulina. Diversas investigaciones señalan que cuando las mujeres se encuentran en estado postmenopáusico aumenta la resistencia a la insulina donde se evidencia una elevación de glucosa e insulina. (22)

Varios estudios publicados coinciden con nuestra investigación donde el sexo femenino se ve más afectado por el síndrome metabólico y la edad se encuentra asociada a determinar mayor prevalencia y mortalidad en adultos mayores como en el caso estudiado de los adultos mayores en la isla Tenerife en España y el caso en Lima, Perú donde 1 de cada 4 mujeres tenía síndrome metabólico siendo el 26,4 % a diferencia de los hombres con el 11,1%. (23)

Actualmente el mejor parámetro para evaluar el grado de control metabólico es la hemoglobina glicosilada (HbA1c), donde aquellas personas que manejan valores sobre los <180 mg/dl en ayunas deben tener un monitoreo de cada tres meses ya que la glucosa por sí misma no refleja el verdadero control metabólico, se lo realiza en este tiempo porque la vida útil del eritrocito es de 120 días donde refleja la glucemia de 6 a 8 semanas anteriores. (24)

A más de realizar una buena evaluación y diagnóstico en la población joven, de acuerdo a la Encuesta de Salud y Nutrición realizada en el período 2011-2013 en nuestro país determinaron que jóvenes de 20 años en adelante ya se encuentran entre las cifras de mayor prevalencia con un porcentaje del 53%, donde se da un incremento de enfermedades relacionadas con el síndrome metabólico aumentando así las cifras de mortalidad. (25)

Si bien entre las causas de desarrollar este síndrome están los malos hábitos en el estilo de vida de cada persona, el sedentarismo y alimentación cada vez hay un incremento en niños y jóvenes por esta razón se debería tomar medidas de prevención donde se empiece a fomentar una mejor calidad de vida en la alimentación y ejercicio, hoy en día investigaciones como el realizado en México a niños y adolescentes en el año 2017 señala que existe un gran incremento en niños hispanos de 7 a 14 años.(26)

Por todas estas razones y conforme se dan

avances en relación al tema en nuestro medio la salud del adulto mayor ha llegado a ser de gran preocupación en el sistema sanitario refiriéndose más a las mujeres que son las que acuden más a citas médicas, además de aquellos que se encuentran solos o no gozan de una buena atención alimenticia, deportiva o mental lo cual incurre en ausentismo laboral, desgaste familiar y todas las consecuencias en la economía y en el estilo de vida es si, por eso la importancia de incentivar a la realización de charlas y actividades dinámicas donde se propicie la actividad física y se reduzca así el nivel de sedentarismo. (27)

V. CONCLUSIONES

En la población de adultos mayores, la evaluación a través de pruebas de laboratorio clínico evidenció el predominio de sobrepeso en cuanto a los parámetros según el IMC. De estos 48.5 % de los pacientes estudiados fueron diagnosticados con diabetes mellitus además de encontrarse valores elevados tanto de triglicéridos como de glucosa.

Dentro de los hallazgos elevados de síndrome metabólico pertenecientes a adultos mayores se debe considerar la evaluación médico integral, educación y seguimiento a esta población por el alto riesgo cardiovascular a los que se enfrenta este grupo vulnerable.

De acuerdo a los criterios diagnósticos de la (NCEP- ATP III) se concluyó que el 55.9 % de los

adultos mayores cumplen con 3 de los requisitos para tener síndrome metabólico.

La prevalencia de síndrome metabólico estudiada en esta investigación fue alta de un 55,9 % lo que indica que se deben implementar pautas de tratamiento y prevención para el cuidado de la salud en adultos mayores, empezando por los más jóvenes, donde el estilo de vida es un gran pilar en el desarrollo de estas enfermedades.

El Programa de Prevención de Diabetes (DPP) menciona que el tener un peso adecuado a través de la dieta y ejercicio físico es la mejor alternativa de prevención para desarrollar diabetes. (28)

La implementación y el seguimiento de estudios hematológicos, inmunológicos y psicológicos darían apertura a un verdadero conocimiento de la salud integral aportando significativamente a procesos de envejecimiento saludables y políticas públicas dirigidas a las personas de la tercera edad todas con un verdadero conocimiento de causa.

VI. AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) y la Universidad Técnica de Ambato al cual está adscrito el Proyecto titulado: "Estrategia de intervención multidisciplinaria de salud en pacientes con neuropatía periférica diabética para promover su calidad de vida. Cantón Ambato", aprobado en Resolución Nro. UTA-CONIN-2022-0169-R.

VI. REFERENCIAS

1. Jenny M, Chuchuca A, Wong S, Encalada L. Síndrome metabólico y actividad física en adultos mayores de la sierra ecuatoriana. Scielo [Internet]. 2017. [citado 10 febrero 2023]. 9- 14. Disponible en: <https://scielosp.org/article/rsap/2017.v19n6/754-759/es/>
2. Carvajal C. Síndrome metabólico: definición, epidemiología, etiología, componentes y tratamiento. Medicina Legal de Costa Rica. [Internet]. 2017 [citado 10 febrero 2023]. 2-19. Disponible en: <https://scielosp.org/article/rsap/2017.v19n6/754-759/es/>
3. Vinocour M, Tortós J. Diabetes Mellitus, una Enfermedad Cardiovascular. Revista Costarricense de Cardiología. [Internet]. 2002 [citado 10 febrero 2023]. 36-44. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-41422002000100008&lng=en.
4. Apolo A, Escobar K, Herrera I, Arias C, Apolo D. Análisis descriptivo del síndrome metabólico en trabajadores de empresas en la costa ecuatoriana, 2017 y 2018. Revista San Gregorio. Scielo. [Internet]. 2020 [citado 15 febrero 2023]. 165-166. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2528-79072020000200162#:~:text=De%20acuerdo%20a%20los%20datos,s%C3%ADndrome%20metab%C3%B3lico%20es%20de%2027.7%25
5. Matía M, Lecumberri P, Calle P, Nutrición y síndrome metabólico. Revista española de Salud pública.



- Redalyc. [Internet]. 2007 [citado 05 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/170/17081506.pdf>
6. Lizarzaburu J. Síndrome metabólico: concepto y aplicación práctica. *Revista An.Fac med.* [Internet]. [citado el 18 de marzo del 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v74n4/a09v74n4.pdf>
 7. Cabrera E, Cálix W, Stusser B, Parlá J, Alvarez A, et al. Relación de la resistencia a la insulina con el riesgo cardiovascular, según diferentes tablas y factores de riesgo cardiovascular en sujetos sobrepesos y obesos. *Revista Cubana de Endocrinología.* [Internet]. [citado el 22 de marzo del 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-29532013000200004
 8. Fernández V, Urbano P, Agusti M, Ruiz A, Gómez J. Prevalencia de síndrome metabólico y riesgo cardiovascular en un área urbana de Murcia. *Rev. Nutrición Hospitalaria* [Internet]. [citado el 06 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v30n5/12originalpediatria03.pdf>
 9. López P, Sánchez R, Díaz M, Cobos L, Parra J, Lizcano F, Lanás F, Sinay I, et al. Consenso latinoamericano de hipertensión en pacientes con diabetes tipo 2 y síndrome metabólico. *Rev. Fac. med.* [Internet]. 2013 [citado el 06 de noviembre del 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v21n1/v21n1a12.pdf>
 10. Schettini C, Schwedt E, Moreira V, Mogdasy C, Chávez L, Bianchi M. et al. Prevalencia del síndrome metabólico en una población adulta. *Rev.Urug.Cardiol.* [Internet]. 2004 [citado el 11 de diciembre del 2023]. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-04202004000100003&lng=es.
 11. Sánchez D. Accesibilidad a los servicios de salud: debate teórico sobre determinantes e implicaciones en la política pública de salud. *Revista médica del instituto mexicano del seguro social.* [Internet]. 2017. [citado 5 de abril 2023]. 82-97. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4577/457749297021/html/>
 12. Sacoto A, Vintimilla J, Martínez C, Bustamante K, Flores M. Síndrome metabólico, estado nutricional y su relación con diferentes profesiones. *Revista Latinoamericana de Hipertensión.* [Internet]. 2019. [citado el 6 de noviembre del 2023]. Disponible en: https://www.revhipertension.com/rlh_2_2019/ecuador_sindrome_metabolico_estado_nutricional.pdf
 13. García EG, De la Llata Romero M, Kaufer-Horwitz M, Luna MTT, León RC, Velásquez VV, et al. La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. Segunda parte [Internet]. *Medigraphic.com.* 2009 [citado el 13 de abril 2023]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/salmen/sam-2009/sam091k.pdf>
 14. Dotres C, Pérez R, Córdoba L, Santín M, Landrove O. Programa Nacional de Prevención, Diagnóstico, Evaluación y Control de la Hipertensión Arterial. *Rev Cubana Med Gen Integr* [Internet]. 1999 [citado el 14 de abril del 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21251999000100009&lng=es.
 15. Padierna-Luna JL, Ochoa-Rosas FS, Jaramillo-Villalobos B. Prevalencia de síndrome metabólico en trabajadores del IMSS. *Revista Médica del Instituto Mexicano del* [Internet]. *Redalyc.org.* 2007 [citado el 23 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4577/457745530009.pdf>
 16. Hernández Tamayo M, Miguel Soca P, Marrero Hidalgo M, Pérez López L, Peña Pérez I, Rivas Estévez M. Comportamiento de variables clínicas, antropométricas y de laboratorio en pacientes con síndrome metabólico. *MediSur* [Internet]. 2011 [citado el 17 de abril del 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2011000200004
 17. Palomares Bayo M., Quesada Granados J. J., Osuna Ortega A., Asensio Peinado C., Oliveras López M.ª J., López Gª de la Serrana H. et al. Estudio longitudinal del Índice de masa corporal (IMC) en pacientes en diálisis. *Nutr. Hosp.* [Internet]. 2006 [citado 27 de junio del 2023]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000200005&lng=es.

18. Moreno-Altamirano L. IV. La epidemia del siglo XXI. El síndrome metabólico: factores socioculturales [Internet]. Medigraphic.com. 2009 [citado el 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2009/gm095g.pdf>
19. Aliaga E, Tello T, Varela L, Seclén S, Ortiz P, Chávez H. Frecuencia de síndrome metabólico en adultos mayores del Distrito de San Martín de Porres de Lima, Perú según los criterios de ATP III y de la IDF. *Rev Med Hered* [Internet]. 2014 [citado 2023 Nov 05]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2014000300006&lng=es.
20. Pierlot R, Cuevas-Romero E, Rodríguez-Antolín J, Méndez-Hernández P, Martínez-Gómez M. Prevalencia de síndrome metabólico en niños y adolescentes de América. *Tip* [Internet]. 2009 [citado el 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405888X16300158>
21. Navarrete G Luz Marina, Terán L Iris. Valor Predictivo para Riesgo Cardiovascular de los Componentes del Síndrome Metabólico, según criterios de la FID y ATP III, en Trabajadores de un Hospital del Estado Aragua, 2006. *Comunidad y Salud* [Internet]. 2007 [citado el 18 de abril del 2023]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-32932007000200002&lng=es.
22. Molina de Salazar DI, Muñoz-Gómez D. Síndrome metabólico en la mujer. *Rev Colomb Cardiol* [Internet]. 2018; [citado el 20 de abril del 2023]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120563317302711>
23. Arbañil-Huamán Hugo César. Síndrome metabólico: Definición y prevalencia. *Rev. Peru. ginecol. obstet.* [Internet]. 2011 [citado el 20 de abril del 2023]; 57(4): 233-236. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-51322011000400004&lng=es.
24. Piñeros-Garzón Flor Stella, Rodríguez-Hernández Jorge Martín. Factores de riesgo asociados al control glucémico y síndrome metabólico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. Villavicencio, Colombia. *Univ. Salud* [Internet]. 2019 [citado el 20 de abril del 2023]; 21(1): 61-71. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072019000100061&lng=en. <https://doi.org/10.22267/rus.192101.140>.
25. Freire W, Ramírez M, Belmont P, Mendieta M, Silva K, Romero N, Sáenz K, Piñeros P, et al. Resumen ejecutivo Tomo I. Encuesta Nacional de salud y nutrición ENSANUT- ECU 2011-2013. Quito- Ecuador [Internet]. 2013. [citado el 06 de noviembre del 2023]; Disponible en: https://www3.paho.org/ecu/dmdocuments/vigilancia-sanitaria-y-atencion-de-las-enfermedades/libro_ensanut.pdf
26. Curiel A, Galindo C, Juárez L, Osorio V, Síndrome metabólico en niños de 6 a 12 años con obesidad, en escuelas públicas de siete municipios del Estado de México. *Salud pública México. Scielo.* [Internet]. 2018 [citado 05 de noviembre del 2023]; Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/spm/2018.v60n4/395-403/es>
27. Heredia Aguirre Susana Isabel, Mayorga Mazón Clara de las Mercedes. Factores de riesgo del síndrome metabólico relacionados con el estado nutricional. Empresa Eléctrica Riobamba. SA. *Rev Eug Esp* [Internet]. 2019 [citado 2023 Jun 30]; 13(1):28-35. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2661-67422019000100028&lng=es. <https://doi.org/10.37135/ee.004.06.03>.
28. Chimbo-Yunga JM, Chuchuca-Cajamarca AJ, Wong S, Encalada-Torres LE. Síndrome metabólico y actividad física en adultos mayores de la sierra ecuatoriana. *Rev Salud Pública (Bogotá)* [Internet]. 2017 [citado el 27 de abril de 2023]; 19(6):754-9. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rsap/2017.v19n6/754-759/es/>

MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DE TIEMPOS DE VIAJE DEL SISTEMA TROLEBÚS

Mathematical modeling of travel times in trolleybus system

 ¹ Alex Eduardo Pozo Valdiviezo *

 ² Leonardo David García Medina

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador.

² Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Básicas, Portoviejo, Ecuador.

* alexpozofima93@gmail.com

RESUMEN

En este estudio, se abordó la optimización de la movilización de los usuarios del Trolebús en la ruta que abarca las avenidas Maldonado, 10 de agosto y Galo Plaza Lasso, las cuales son transitadas por el sistema integrado Trolebús en Quito (1). El enfoque metodológico comenzó con la consideración de un desplazamiento determinista del articulado desde una parada a la siguiente, limitándose al circuito C1, que abarca un tramo de 10 kilómetros de las 22.5 kilómetros totales de la ruta (2).

Se asumió una trayectoria horizontal y recta, suponiendo que todos los semáforos permanecían en verde para mantener la velocidad constante durante el viaje. Se desarrolló un modelo matemático basado en un funcional de costo que representaba el tiempo de viaje entre paradas, sujeto a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que describían la dinámica del articulado en función del tiempo.

El propósito de este estudio fue la implementación del control óptimo de tiempos, utilizando el Principio del Máximo de Pontryagin (3). Para lograrlo, se realizó una simulación numérica para identificar el perfil de velocidad óptimo del articulado en esta ruta. Este enfoque proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia del transporte público de Quito.

Palabras Clave: *Funcional de costo, trayectoria, Principio de Máximo de Pontryagin, control óptimo.*

ABSTRACT

In this study, the optimization of the mobilization of Trolleybus users on the route that covers the avenues Maldonado, 10 de Agosto and Galo Plaza Lasso, which are transited by the integrated Trolleybus system in Quito, was addressed. The methodological approach began with the consideration of a deterministic displacement of the articulated bus from one stop to the next, limited to the C1 circuit, which covers a 10-kilometer stretch of the 22.5 kilometers of the total 22.5 kilometers of the route.

A horizontal and straight trajectory was assumed, assuming that all traffic lights remained green in order to maintain a constant speed during the trip. A mathematical model was developed based on a functional of cost representing the travel time between stops, subject to a system of ordinary differential equations describing the dynamics of the articulated vehicle as a function of time.

The purpose of this study was the implementation of optimal time control, using Pontryagin's maximum principle. To achieve this, a numerical simulation was performed to identify the optimal

speed profile of the articulated vehicle on this route. This approach provides a solid basis for making informed decisions and improving the efficiency of Quito's public transport.

Keywords: *functional of cost, trajectory, Pontryagin's Maximum Principle, optimal control.*

I. INTRODUCCIÓN

El *control óptimo*, en su esencia, constituye una técnica de modelado matemático diseñada para la óptima gestión de recursos limitados a lo largo del tiempo. Su importancia ha experimentado un notable crecimiento debido, por un lado, a su amplia aplicabilidad en diversas disciplinas, que abarcan desde la economía y las finanzas hasta la ingeniería y la biología. Por otro lado, su relevancia también se extiende al ámbito matemático, donde exige un profundo conocimiento en áreas como el análisis real, el análisis funcional y la teoría de la probabilidad, entre otros.

Inicialmente, esta teoría se basó en los principios de optimización de Pontryagin (3) y Bellman (4); sin embargo, en años recientes, ha experimentado un desarrollo notable, impulsado por desafíos emergentes en campos como la economía matemática y las matemáticas financieras. Específicamente, se enfoca en el estudio de controles y las trayectorias correspondientes que conducen a límites en *conjuntos alcanzables*, siendo el control de viaje de un vehículo un caso clásico (5-8). En este contexto, la velocidad, registrada por el velocímetro, *se retroalimenta* y compara con el perfil de velocidad en el control, lo que activa el motor para acelerar en caso de una velocidad demasiado baja o desacelerar en caso de una velocidad excesiva (9).

Por otro lado, la relevancia de este estudio reside en su capacidad para abordar un desafío crucial en el ámbito del transporte público urbano en el Distrito Metropolitano de Quito (10-11). En un mundo enfocado cada vez más en la movilidad sostenible y eficiente, comprender y optimizar los tiempos de viaje en sistemas de trolebuses integrados se convierte en una prioridad apremiante. Nuestra investigación se suma a la creciente literatura en este campo y presenta un enfoque matemático sólido para modelar y analizar estos tiempos de viaje, teniendo en cuenta factores como la velocidad máxima permitida en carriles exclusivos para trolebuses, la distancia entre paradas y la sincronización del

sistema de semaforización para garantizar que los vehículos siempre encuentren señales verdes cuando se aproximan.

Este trabajo se relaciona directamente con los artículos (12,13), dado que ambos se adentran en problemáticas relacionadas con el control óptimo y la planificación de trayectorias de vehículos, en los cuales abordan distintos enfoques. El artículo (12) se centra en la gestión de desplazamientos y elevaciones de las catenarias de una grúa, mientras que el trabajo (13) se dedica a analizar el consumo eléctrico de vehículos con motores eléctricos o híbridos. Los resultados obtenidos en estos artículos contribuyen al avance en la comprensión y la resolución de problemas de control de vehículos, lo que complementa y enriquece nuestro enfoque en la mejora del Sistemas Integrado Trolebús.

Los resultados obtenidos no solo son de gran utilidad para planificadores urbanos y autoridades de transporte, sino que también tienen el potencial de mejorar la experiencia de los usuarios del sistema, reducir los tiempos de espera y promover un mayor uso del transporte público. Esto, a su vez, podría contribuir significativamente a la disminución de la congestión vehicular y las emisiones de carbono en áreas urbanas. En resumen, este artículo representa un avance importante en la optimización y mejora de los sistemas de trolebuses integrados, con implicaciones significativas para la movilidad urbana sostenible en la actualidad.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

• Materiales.

En esta investigación se utilizaron los siguientes materiales:

- *Lenguaje de programación Python* – paquete GEKKO.
- Ordenador y equipos de oficina.



• **Metodología.**

La investigación se focalizó en el empleo de un modelo de control óptimo, para minimizar el tiempo total de viaje del articulado, consignado a la disminución del tiempo de viaje en cada circuito. El horizonte de optimización se establece como la distancia entre dos puntos geográficos separados por una distancia conocida, en los cuales se impone la velocidad. En la práctica, el horizonte de optimización corresponde normalmente a la distancia entre dos paradas sucesivas, así, la velocidad impuesta es igual a cero. El número mínimo de parámetros posibles para lograr el objetivo de optimización es la velocidad del articulado. Por lo tanto, la salida del control óptimo es la secuencia de valores de velocidad que generaría el tiempo de viaje más bajo, mientras se mueve el articulado entre las dos paradas en un intervalo de tiempo prescrito. La formalización de este problema se puede hacer usando la siguiente descripción y restricciones del sistema que se indican a continuación.

Ecuación dinámica

El articulado parte del reposo desde la parada A y es conducido por la vía hasta la parada B donde queda nuevamente en reposo. Por la Segunda Ley de Newton, la fuerza neta F_n aplicada al articulado está relacionada con la fuerza F_a debida a la aceleración dada al presionar el acelerador y con la fuerza F_d provocada por la desaceleración mediante el sistema de frenos, con lo cual se obtiene que:

$$F_n = F_a + F_d, \tag{1}$$

$$m\ddot{x}(t) = m\alpha(t) + m\beta(t), \tag{2}$$

como la masa del articulado es constante ($m > 0$) entonces se arriba a la ecuación diferencial

$$\ddot{x}(t) = \alpha(t) + \beta(t). \tag{3}$$

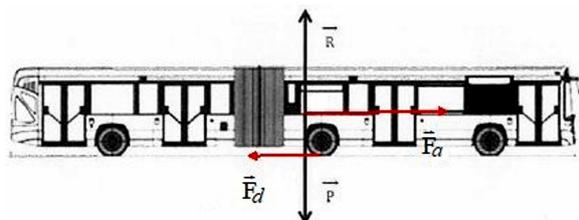


Figura. 1. Diagrama de cuerpo libre del articulado

Donde el control α es la aceleración usando el acelerador y β es la desaceleración de frenado.

Una vez escogidas las posición y la velocidad como variables de estado, tenemos el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias

$$x_1(t) = x(t), \tag{4}$$

$$t \in [T_1, T_2]$$

$$x_2(t) = \dot{x}(t), \tag{5}$$

donde $x \in C^1([T_1, T_2])$ con $0 < T_1 < T_2$ los tiempos entre paradas. Luego, realizando la siguiente identificación para las variables de control admisibles α y β vemos que

$$u_1(t) = \alpha(t), \tag{6}$$

$$t \in [T_1, T_2]$$

$$u_2(t) = \beta(t), \tag{7}$$

Resultando así el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales: β

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t) \tag{8}$$

$$t \in [T_1, T_2]$$

$$\dot{x}_2(t) = u_1(t) + u_2(t) \tag{9}$$

cabe notar que las funciones u_1 y u_2 son continuas a trozos. El sistema formado por (8) y (9) en forma matricial se expresa como

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} u(t), \quad t \in [T_1, T_2] \tag{10}$$

Donde $x \in C^1([T_1, T_2], R^2)$ y el vector u es un control admisible y continuo a trozos.

Restricciones físicas

Mostramos que los articulados inician su desplazamiento desde la parada A y se detienen en la parada B. Cuando $T_1 = t_0$ indicamos que el articulado abandona la parada A y $T_2 = t_f$ el tiempo de arribo a la parada B, entonces se sigue que

$$x_1(t_0) = A, \tag{11}$$

$$x_1(t_f) = B, \tag{12}$$

Adicionalmente, como el articulado parte del reposo (parada A) y se detiene en la parada B, por consiguiente

$$x_2(t_0) = 0, \tag{13}$$

$$x_2(t_f) = 0, \tag{14}$$

Colocando en notación matricial las expresiones (11), (12), (13) y (14) obtenemos las condiciones de frontera

$$x(t_0) = \begin{bmatrix} A \\ 0 \end{bmatrix}, x(t_f) = + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}, \quad A \geq 0, \quad B > 0 \quad (15)$$

Asumimos a la vez que el articulado no retrocede, lo cual nos impone las condiciones siguientes

$$0 \leq A \leq x_1(t) \leq B, \quad \forall t \in [T_1, T_2] \quad (16)$$

$$0 \leq x_2(t) \leq 40, \quad \forall t \in [T_1, T_2]. \quad (17)$$

Teniendo en conocimiento que la aceleración es acotada superiormente por algún límite que depende de la capacidad del motor, y que la máxima desaceleración es limitada por los parámetros del sistema de frenado. Expresamos por $M_1 > 0$ la aceleración máxima y con $M_2 > 0$ a la desaceleración máxima, entonces los controles u_1 y u_2 satisfacen

$$0 \leq u_1(t) \leq M_1, \quad \forall t \in [T_1, T_2] \quad (18)$$

$$-M_2 \leq u_2(t) \leq 0, \quad \forall t \in [T_1, T_2]. \quad (19)$$

Esta formulación utiliza un perfil de referencia, el cual se supone es conocido. La importancia física de limitar la diferencia de velocidad y control (es decir, la aceleración), con respecto a los perfiles de referencia, es garantizar que la solución óptima sigue siendo realista y no produce una velocidad o aceleración incompatible con las condiciones reales.

Modelo de control óptimo

Puesto que existen condiciones terminales tanto en el tiempo final como en la distancia final, se tienen dos enfoques para este problema:

1. La velocidad y la distancia se consideran como estados del sistema mientras que el tiempo será la variable independiente, de esta forma, se impone que los estados consigan valores predefinidos en el momento final, esto último, se da puesto que representa la longitud entre paradas sucesivas.
2. Se contempla solamente la velocidad como estado, y tener presente como variable independiente a la distancia; en este caso la restricción de la distancia es espontánea, mientras que la restricción del tiempo debe ser efectuada por separado.

En esta investigación se trabajó con el primer enfoque, a causa de que los métodos numéricos para esta orientación tienen una implementación sencilla. Por otro lado, el segundo enfoque, al contrario, es más propicio en ese sentido y representa la opción preferida, pero los métodos numéricos para la implementación son mucho más avanzados y requieren de herramientas matemáticas más potentes.

Subsiguientemente, mostramos el problema de control óptimo asociado al estudio del fenómeno de los tiempos de viaje del articulado. Vamos a considerar el vector de estados $x = [x_1, x_2]$ (posición y velocidad). Tomamos en cuenta el sistema de ecuaciones (8)-(9)

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t),$$

$$\dot{x}_2(t) = u_1(t) + u_2(t),$$

sujeto a las condiciones (16), (17), (18) y (19). Este problema está asociado a la función de coste J definida por

$$J(u) = \int_{T_0}^{T_1} 1 dt = \int_{t_0}^{t_f} 1 dt = t_f - t_0 = \Delta t, \quad (20)$$

donde (20) representa el tiempo entre paradas consecutivas. El valor de t_f representa el tiempo al momento de completar el segmento de la vía que hay entre las paradas A y B y t_0 representa el tiempo con el cual parte el articulado de la parada A.

El problema de control óptimo se escribe:

Encontrar una función $u \in L^\infty([t_0, t_f])$ tal que la trayectoria $x(\cdot)$ asociada al sistema (8)-(9) minimice J

Esto significa que cualquiera que sea $x = [x_1, x_2]$ (posición y velocidad objetivos en Δt), hay un control $u \in L^\infty([t_0, t_f])$ que lleva el articulado de la parada A hacia la parada B en el tiempo Δt (14,15).

Existencia y unicidad

Para mostrar que existe la función u tal que minimice a la función de coste J se debe probar que el problema

$$\inf_{u \in L^\infty([t_0, t_f])} J(u) \quad (21)$$



tiene una solución única (15). Para esto, partimos de una condición inicial $x(t_0) = \begin{bmatrix} A \\ 0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^2$ y se desea arribar al objetivo $\begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}$ en un tiempo mínimo.

Consideraremos un sistema más simple con las mismas funcionalidades

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t), \quad (22)$$

$$\dot{x}_2(t) = u(t), \quad (23)$$

con $0 \leq u_1 \leq M_2$ y $-M_2 \leq u_2 \leq 0$ y con la restricción de velocidad $|x_2| \leq v_{\max}$ donde $v_{\max} = 40$ km/h.

El Hamiltoniano (16, 17-19) $H: [t_0, t_f] \times \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ asociado al sistema de control lineal (22)-(23) se expresa como

$$H(t, x, p, u) = p_1 x_2 + p_2 u \quad (24)$$

Un cálculo elemental sobre las derivadas parciales del hamiltoniano muestra que

$$\nabla_x H(t, x, p, u) = -p_1 \quad (25)$$

$$\nabla_p H(t, x, p, u) = 0 \quad (26)$$

Se toma en cuenta que dado que el vector adjunto $p = (p_1, p_2)$ no debe ser trivial, p_2 no puede desaparecer en un intervalo, de lo contrario, también tendríamos $p_1 = -\dot{p}_2 = 0$. Aplicando el Principio de Máximo de Pontryagin (20, 5), vemos que

$$\dot{p} = \nabla_x H(t, x, p, u), \quad (27)$$

$$\dot{x} = \nabla_p H(t, x, p, u), \quad (28)$$

Juntando las expresiones en (25), (26), (27), (28) obtenemos

$$\dot{p}_1 = 0$$

$$\dot{p}_2 = -p_1$$

de donde se desprende

$$p_1 = c_1, \quad (29)$$

$$p_2 = c_2 - c_1 t, \quad (30)$$

deducimos que, en casi todas partes,

$$u(t) = \text{sgn}(c_2 - c_1 t) \quad (31)$$

con $\text{sgn}(x)$ la función signo de x . Esas condiciones imponen dos tipos de órbitas. Entonces para $u = u_2$

$$\dot{x}_1(t) = \frac{1}{2} u_2 t^2 + s_2 t + s_2, \quad (32)$$

$$\dot{x}_2(t) = u_2 + s_2, \quad (33)$$

de donde se desprende que

$$x_1(t) = \frac{1}{u_2} \left(\frac{1}{2} (x_2(t) - s_2)^2 + s_2 (x_2(t) - s_2) \right) + s_1 \quad (34)$$

Análogamente para $u = -u_1$

$$x_1(t) = -\frac{1}{u_1} \left(\frac{1}{2} (x_2 - \tilde{s}_2)^2 + \tilde{s}_2 (x_2 - \tilde{s}_2) \right) + \tilde{s}_1 \quad (35)$$

Ahora con las condiciones iniciales $x_1(t_0) = A$, $x_2(t_0) = 0$, obtenemos $s_1 = A$, $s_2 = 0$

$$x_1(t) = -\frac{1}{2u_1} (x_2(t))^2 + A. \quad (36)$$

Y así las trayectorias son por lo tanto parábolas de eje x , recorridas en la dirección creciente de x_2 . Mientras que para el caso $u = -u_1$; las trayectorias son, por tanto, parábolas de eje $-x$, recorridas en la dirección decreciente de x_2 .

Estas parábolas se muestran en la Figura 2. En azul tenemos las trayectorias de aceleración ($u = \beta$) y en rojo las de ruptura ($u = -\alpha$). La restricción a la velocidad se logra en B desde A .

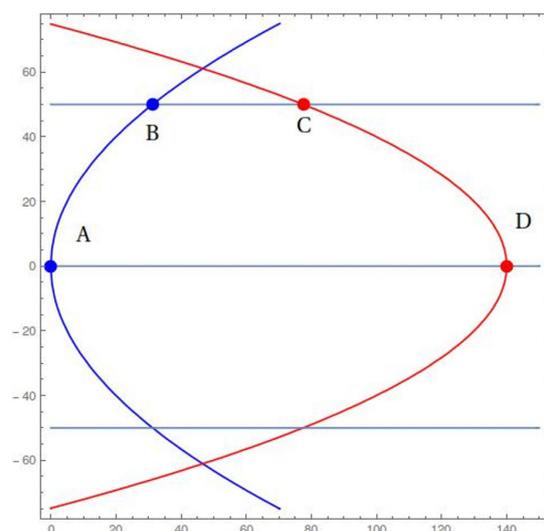


Figura 2. Momento óptimo de parada de un trolebús: trayectorias y curva de cambio.

Se debe tener en cuenta que el control óptimo se escribe como una función de retroalimentación del estado ya que tenemos

- $u = \beta$ si x está por debajo de la curva de conmutación en este caso, es necesario acelerar.
- $u = \alpha$ si x está por encima de esta curva en este caso, es necesario desacelerar.

De B a C tenemos el sistema

$$\dot{x}_1(t) = x_2, \quad (37)$$

$$\dot{x}_2(t) = 0, \quad (38)$$

lo que da

$$x_1(t) = v_{max}t + s_1 \quad (39)$$

$$x_2(t) = v_{max}, \quad (40)$$

por lo que la trayectoria de tiempo mínimo de A a D es $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$. A partir de esos datos podemos calcular fácilmente t_f y así

$$t_f = \frac{x_1 - s_1}{v_{max}} = \frac{x_1 - A}{40} = \frac{x_1 - A}{40} \quad (41)$$

A partir de la ecuación (29) se obtiene la solución, en función de t , para la ecuación

$$x_1(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{2} (t - t_0)^2 + A & \text{Si } t_0 \leq t \leq t^* \\ \frac{\alpha}{2} (t - t_f)^2 + B & \text{Si } t^* \leq t \leq t_f \end{cases} \quad (42)$$

$$x_2(t) = \begin{cases} \beta (t - t_0) & \text{Si } t_0 \leq t \leq t^* \\ -\alpha (t - t_f) & \text{Si } t^* \leq t \leq t_f \end{cases} \quad (43)$$

donde se observa que el cambio de velocidad tiene lugar en el momento t^* (*switching time*). Tanto la distancia, x_1 y la velocidad en, x_2 , son continuas en $t = t^*$, se debe tener que

$$\beta (t^* - t_0) = -\alpha (t^* - t_f), \quad (44)$$

$$\frac{\beta}{2} (t^* - t_0)^2 + A = -\frac{\alpha}{2} (t^* - t_f)^2 + B \quad (45)$$

Al despejar t^* de las ecuaciones (42) y (43) tenemos que el *switching time* (21) viene dado por

$$t^* = \sqrt{\frac{2\alpha(B-A)}{\beta(\alpha+\beta)}}. \quad (46)$$

y del cual se desprende que el tiempo óptimo Δt es

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2(\alpha+\beta)(B-A)}{\alpha\beta}}. \quad (47)$$

Así vemos que el problema está determinado y el control óptimo está descrito por (29) la cual presenta una discontinuidad en $t = t^*$ y solamente toma sus valores máximos, β , y mínimo, α . A este tipo de control se lo denomina *bang-bang* y se caracteriza por tomar valores iguales a uno, es decir, $\alpha = \beta = 1$. Por ende, el *switching time* y el desplazamiento x_1 en t^* se expresan como sigue

$$t^* = \sqrt{B-A}, \quad (48)$$

$$x_1(t^*) = \frac{(B+A)}{2}. \quad (49)$$

Donde la ecuación (47) indica que la máxima velocidad se alcanza en el punto intermedio entre paradas contiguas, dado que la aceleración máxima se aplica desde el principio y se invierte en el punto medio. Esto supone, por supuesto, que no hay fricción ni velocidad terminal que se pueda lograr a lo largo del camino.

Preparación del código

Se realizó la programación de un *script* con una codificación destinada a establecer los perfiles de desplazamiento, velocidad y aceleración óptimos, tomando en cuenta la documentación de la librería *GEKKO* y la teoría de control óptimo asociada a este tipo de modelos (1).

Implementación del modelo

Con este modelo de control de tiempo óptimo, se realizó las simulaciones para el perfil de velocidad, aceleración y desplazamiento entre dos paradas consecutivas A y B que distan en 400m (2) y considerando que la velocidad máxima permitida para un articulado del trolebus es de 40km/h; a su vez se consideró que el articulado avanza en un intervalo de tiempo $[0, T]$, con $T \approx 108$ seg



representando el tiempo total al recorrer las 75 paradas del trolebús. Con estos datos procesados se obtuvieron 4 gráficas:

- Gráfica del desplazamiento del articulado en función del tiempo.
- Gráfica de la velocidad del articulado en función del tiempo.
- Gráfica de la aceleración (control *bang-bang*) del articulado en función del tiempo.
- Gráfica del perfil de velocidad versus el desplazamiento.

III. RESULTADOS

Los resultados se presentan en tablas y gráficas, que detallan la información de la variable espacial con valores de las distancias entre paradas consecutivas y, además, contiene la información de la variable temporal con valores entre 0 y $T > 0$.

En la Tabla 1 notamos los valores del tiempo óptimo y velocidad óptima durante el trayecto entre la parada A y la parada B, calculados con el lenguaje de programación Python, en particular, el paquete GEKKO (22).

Tiempo óptimo y velocidad óptima del articulado al desplazarse entre paradas consecutivas		
Distancia entre paradas en km	Tiempo óptimo Δt en horas	Velocidad óptima en km/h
0.4	0.01	30.26

Tabla 1. Valores del tiempo óptimo Δt y de la velocidad óptima.

En la Tabla 2 notamos los valores del tiempo óptimo durante el trayecto entre la parada Estación de Quitumbe y la Estación El Labrador.

Tiempo óptimo del articulado al desplazarse entre las estaciones Quitumbe y El Labrador	
Distancia entre paradas en km	Tiempo óptimo Δt en horas
25,5	1,005

Tabla 2. Valores del tiempo óptimo Δt y de la velocidad óptima para todo el Sistema Integrado Trolebus.

En la Figura 3 notamos que la aceleración del articulado se comporta como un control bang-bang, donde el articulado mantiene una aceleración constante de 1 m/s^2 hasta el punto de *switching*, para luego disminuir la aceleración, debido al sistema de frenado, a un valor constante de 1 m/s^2 .

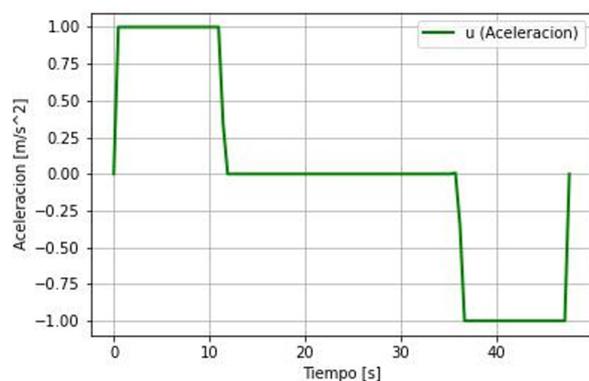


Figura 3. Perfil de la aceleración óptima (control bang-bang).

En la Figura 4 observamos que la velocidad del articulado parte del reposo al tiempo $t_0 = 0$ s y esta va aumentando de forma constante en los primeros durante hasta alcanzar la velocidad máxima permitida de $11,11\text{ m/s} = 40\text{ km/h}$ la cual se mantiene constante durante los 15 s siguientes, para luego disminuir su velocidad hasta llegar con velocidad cero en el tiempo $t_f = 48$ s.

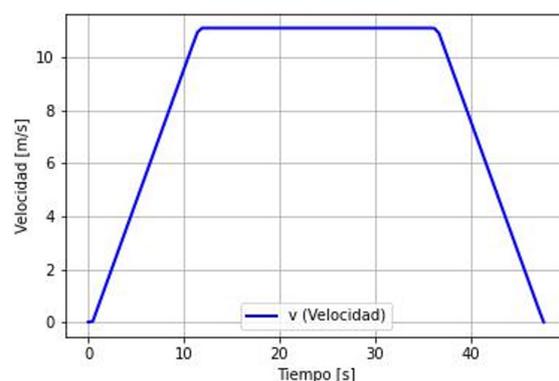


Figura 4. Perfil de la velocidad óptima.

En la Figura 5 se muestra la posición del articulado respecto al tiempo, esta gráfica permitirá identificar que la trayectoria es una función creciente sin presentar alteraciones durante el trayecto entre las paradas A y B.

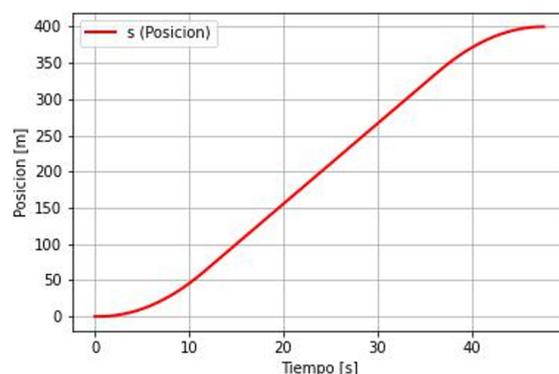


Figura 5. Perfil de la posición (del articulado) óptima.

En suma, la Figura 6 pone en manifiesto el perfil de velocidad óptimo que el articulado deberá seguir durante el trayecto entre dos paradas consecutivas. Se percibe que el articulado parte de la parada A con una velocidad igual a cero y conforme avanza durante los primeros 100 metros, aumenta paulatinamente la velocidad hasta alcanzar la velocidad máxima permitida $11,11 \text{ m/s} = 40 \text{ km/h}$ para mantenerla durante 300 metros y luego disminuirla suavemente para llegar con velocidad cero a la parada B

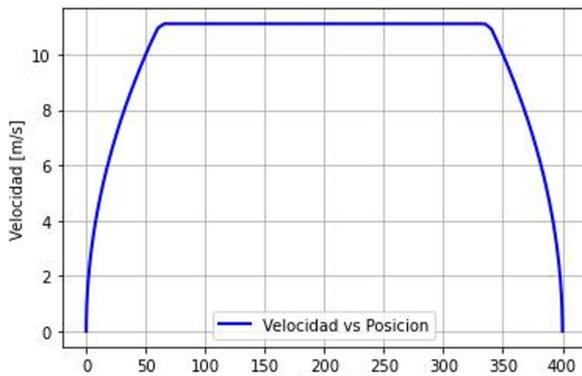


Figura 6. Perfil de la velocidad (del articulado) respecto a la posición.

IV. DISCUSIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad mostrar que la teoría de Control Óptimo puede ayudar a los problemas de movilidad de pasajeros del Sistema Integrado Trolebús, lo cual se logra explicar con los resultados presentados, además se recalca que existen variables que no fueron consideradas en el modelo como es el caso de la velocidad del viento, fricción, tipo de vía, número de semáforos (20,21), por ende, estas simplificaciones permitieron tener un modelo sintético que permite un análisis más flexible. También, esta simplificación podría desvirtuar los resultados.

El estudio nos permite demostrar el efecto de controlar la velocidad del articulado durante todo su trayecto, lo cual motiva a profundizar su estudio y a generar escenarios que permitan desarrollar mejores planificaciones en cuestiones de movilidad, más aun, a valorar la importancia de la modelización matemática en temas de movilización.

A partir de la Tabla 2 se evidencia que el tiempo óptimo del articulado al desplazarse entre las estaciones Quitumbe y El Labrador es menor al

tiempo de viaje registrado por la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito (EPMTPQ), además, cuando se hace el recorrido por las 76 paradas y se examina los tiempos de viaje entre ellas, se obtiene un tiempo total 2,56 horas. Por consiguiente, al unir estos 76 datos, uno a continuación de otro, se obtiene una gráfica del tiempo, como se observa en la Figura 7.

A su vez, se evidencia que las gráficas del tiempo acumulado presentan una tendencia lineal creciente, destacando que la recta obtenida con el modelo está por debajo de la gráfica de los datos proporcionados, ratificando así que los resultados obtenidos con el modelo son bastante aceptables.

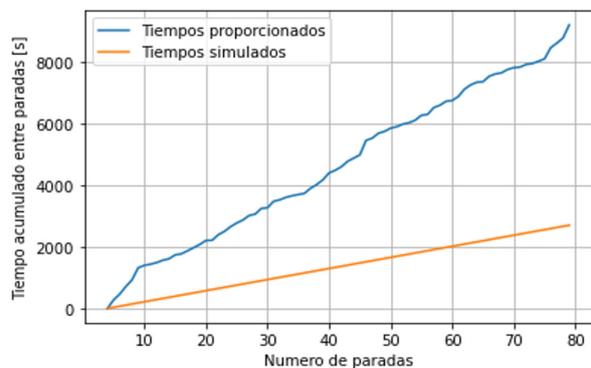


Figura 7. Perfil de la velocidad (del articulado) respecto a la posición.

Por otra parte, los tiempos óptimos se obtuvieron a través de la resolución del problema de tiempo óptimo, que en el presente trabajo muestra una disminución del 39 % en el tiempo total de viaje, porcentaje considerable que surge de la información en la Tabla 2, y confirma el buen ajuste del modelo y su significativa predicción del tiempo óptimo.

En el ámbito de la investigación relacionada con simulaciones de control óptimo de tiempo mínimo, destacan varios estudios relevantes llevados a cabo por investigadores como Dal Bianco, Lot y Gadola (23), Cots (13), Saccon (24), Pickhardt (9), y Li, Wang y Shao (25). Estos trabajos se centran en la aplicación de simulaciones de tiempo mínimo en escenarios que involucran vehículos siguiendo trayectorias predefinidas y abordan aspectos detallados del modelo, que incluyen la dinámica completa del chasis, los movimientos de la suspensión, las maniobras de las ruedas, el consumo de energía eléctrica, así como los movimientos simultáneos de desplazamiento y elevación de las catenarias.



Es importante destacar que el estudio de Li, Wang y Shao (25) se concentra en vehículos articulados utilizados para el transporte de carga, los cuales deben navegar por carreteras sinuosas o congestionadas con el objetivo de llegar a una posición objetivo en el menor tiempo posible, mientras cumplen con restricciones de aceleraciones laterales y longitudinales para evitar el fenómeno conocido como el efecto tijera. Estos trabajos proporcionan una visión detallada de la complejidad intrínseca que implica la formulación de un modelo de control óptimo cuando se consideran múltiples variables y restricciones. En resumen, estas investigaciones son fundamentales para comprender y abordar los desafíos relacionados con el control óptimo en contextos de tiempo mínimo, lo que tiene aplicaciones significativas en una amplia gama de campos, desde la ingeniería de vehículos hasta la movilidad eléctrica y la planificación de rutas en entornos complicados.

V. CONCLUSIONES

Este estudio ha proporcionado una comprensión profunda del comportamiento de los articulados en el sistema Trolebús del Distrito Metropolitano de Quito. Además, hemos logrado obtener el perfil de velocidad óptima en la ruta analizada, lo que sienta las bases para la formulación de estrategias a corto, mediano y largo plazo. Estas estrategias tienen el potencial de reducir la congestión vehicular y mejorar significativamente la movilización de pasajeros en el Distrito Metropolitano de Quito.

VI. REFERENCIAS

1. Inicio [Internet]. Corredores del Sistema; [consultado el 7 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.trolebus.gob.ec/index.php/gestion/nuestras-paradas>
2. Pozo Valdiviezo, A Modelización matemática de tiempos de viaje de la Troncal Central Trolebús. [Internet]. Quito: UCE; 2019 [citado: 2022, diciembre]
3. Pontryagin LS, etc., editores. Mathematical theory of optimal processes. Nashville, TN, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons; 1962.
4. Bellman R. Introduction to the mathematical theory of control processes: Linear equations and quadratic criteria v. 1. San Diego, CA, Estados Unidos de América: Academic Press; 1968.
5. Evans LC. An introduction to mathematical optimal control theory version 0.2 [Internet]. Berkeley.edu. [citado el 29 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://math.berkeley.edu/~evans/control.course.pdf>
6. Knowles G. Introduction to applied optimal control. San Diego, CA, Estados Unidos de América: Academic Press; 1982.

Un hallazgo importante es que los tiempos registrados por la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito son mayores que los tiempos obtenidos a través de nuestro modelo de control de tiempo óptimo. Esto indica que nuestro modelo puede ofrecer estimaciones más precisas de los tiempos de viaje óptimos en la Troncal Central Trolebús. Esta información será invaluable para prever y abordar los desafíos causados por la falta de planificación y organización en el sistema de transporte.

En la actualidad, existen diversos modelos matemáticos basados en ecuaciones físicas que pueden integrar factores como velocidad, aceleración y fricción en el movimiento de los articulados durante su recorrido. El estudio proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la planificación y gestión del sistema de transporte público en el Distrito Metropolitano de Quito, con el potencial de mejorar la eficiencia y la calidad del servicio ofrecido a los pasajeros, al tiempo que contribuye al avance de la ciencia y la planificación urbana en general.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito por proporcionar los datos de los tiempos de viaje en cada una de las paradas del sistema Trolebús y los comentarios constructivos de los revisores anónimos.

7. Kirk DE. Optimal Control Theory: An Introduction. Dover Publications; 2012.
8. Lewis FL, Vrabie D, Syrmos VL. Optimal Control: Lewis/optimal control 3e. 3a ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons; 2012.
9. Pickhardt R. Time- and energy-optimal control of an electric railcar. En: ITSC2000 2000 IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings (Cat No00TH8493). IEEE; 2002.
10. de Movilidad S. DIAGNÓSTICO DE LA MOVILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PARA EL PLAN METROPOLITANO DE DESARROLLO TERRITORIAL (PMOT) [Internet]. Gob.ec. [consultado el 24 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticomovilidad.pdf>
11. Carrion A, Goetschel AM, Sanchez N. BREVE HISTORIA DE LOS SERVICIOS EN LA CIUDAD DE QUITO COORDINADOR MARIOVASCONEZ [Internet]. Edu.ec. [consultado el 24 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/49071.pdf>
12. Hu GS, Ong CJ, Teo CL. Minimum-time control of a crane with simultaneous traverse and hoisting motions. J Optim Theory Appl [Internet]. 2004;120(2):395–416. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1023/b:jota.0000015690.02820.ea>
13. Cots O. Geometric and numerical methods for a state constrained minimum time control problem of an electric vehicle. ESAIM Control Optim Calc Var [Internet]. 2017;23(4):1715–49. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1051/cocv/2016070>
14. Bressan A, Piccoli B. Introduction to the mathematical theory of control. 2007.
15. Ern A. Contrôle de modèles dynamiques [Internet]. Enpc.fr. [citado el 29 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://cermics.enpc.fr/~ern/MAP434/poly.pdf>
16. Trélat E. Contrôle optimal : théorie et applications [Internet]. Upmc.fr. [citado el 29 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.ljll.math.upmc.fr/trelat/fichiers/livreopt.pdf>
17. Athans M, Falb PL. Optimal control: An introduction to the theory and its applications. Dover Publications; 2013.
18. Alekseev VM, Tikhomirov VM, Fomin SV. Optimal control. 1987.
19. Strauss A. An introduction to optimal control theory. 1968a ed. Berlín, Alemania: Springer; 2012.
20. Beal L, Hill D, Martin R, Hedengren J. GEKKO Optimization Suite. Processes (Basel) [Internet]. 2018 [citado el 29 de diciembre de 2022];6(8):106. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9717/6/8/10>
21. Boscain U, Piccoli B. Optimal syntheses for control systems on 2-D manifolds. 2004a ed. Berlin, Germany: Springer; 2003.
22. de Dios Ortuzar J, Willumsen LG. Modelling Transport. 4a ed. Standards Information Network; 2011.
23. Dal Bianco N, Lot R, Gadola M. Minimum time optimal control simulation of a GP2 race car. Proc Inst Mech Eng Pt D: J Automobile Eng [Internet]. 2018;232(9):1180–95. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0954407017728158>
24. Saccon A. Minimum time maneuver for a nonholonomic car with acceleration constraints: Preliminary results. En: Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation Intelligent Control, 2005. IEEE; 2005.
25. Li B, Wang K, Shao Z. Time-optimal trajectory planning for tractor-trailer vehicles via simultaneous dynamic optimization. En: 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE; 2015.

Perfiles

Descarga:



epoch

Facultad
de Ciencias