

**ESTUDIO DE RIESGOS EN ESCENARIOS NATURALES COLOMBIANOS CON  
POTENCIAL USO PARA MISIONES ESPACIALES ANÁLOGAS****STUDY OF RISKS IN COLOMBIAN NATURAL SCENARIOS WITH  
POTENTIAL USE FOR ANALOGUE SPACE MISSIONS**

 **ST. Cristhian Antonio Campos Chaparro**\*,  **MSc. María Alejandra Corzo Zamora**\*,  **T1. Angie Katerine Alvarado Yepes**\*,  **ST. Joseph Néstor David Sequeda Ramón**\*,  **ST. Ingrid Xiomara Bejarano Cifuentes**\*,  **Dr. Diego Leonel Malpica Hincapié**\*

\* **Fuerza Aérea Colombiana**, Jefatura de Educación Aeronáutica y Espacial JEAES  
Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación DICTI  
Centro de Investigaciones Biomédicas, Aeronáuticas y Espaciales CIBAE  
Bogotá – Colombia.

E-mail: {cristhian.campos, angie.alvarado, joseph.sequeda, ingrid.bejarano}@fac.mil.co,  
alejandrakorzo.sph@gmail.com, dlmalpica@me.com

**Cómo citar:** Campos Chaparro, C. A., Corzo Zamora, M. A., Alvarado Yepes, A. K., Sequeda Ramón, J. N. D., Bejarano Cifuentes, I. X., & Malpica Hincapié, D. L. (2022). ESTUDIO DE RIESGOS EN ESCENARIOS NATURALES COLOMBIANOS CON POTENCIAL USO PARA MISIONES ESPACIALES ANÁLOGAS. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 2(40), 110-120. <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i40.2359>

Esta obra está bajo una licencia internacional  
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.



**Abstract:** Space analog missions are an economical alternative for conducting research and training for space missions versus space itself. This method is used by different agencies and organizations of the space sector around the world and has allowed for more than 50 years to develop training and research programs for different missions. The objective of this project is to determine the types of scenarios and analogous missions that can be carried out operationally in Colombia and Antarctica. Four phases were carried out: descriptive observational study based on bibliographic review and webgraphy, field trips, SWOT analysis of each scenario and risk assessment. It concludes with the risks identified for the four study areas visited, 1) Antarctic King George Island, 2) Tatacoa Desert, 3) Villa de Leyva Desert, 4) Nevado del Ruíz and their mitigation measures.

**Keywords:** Desert, Ecosystem, Scenarios, Innovation, Risk.

**Resumen:** Las misiones análogas espaciales son una alternativa económica para la realización de investigación y entrenamiento para misiones espaciales frente al espacio en sí. Este método es utilizado por las diferentes agencias y organizaciones del sector espacial alrededor del mundo y ha permitido durante más de 50 años desarrollar los programas de entrenamiento e investigación para las diferentes misiones. Este proyecto tiene como objetivo determinar los tipos de escenarios y misiones análogas que se pueden realizar operativamente en Colombia y la Antártica. Se realizaron cuatro fases: estudio descriptivo observacional basado en revisión bibliográfica y webgrafía, salidas de campo, análisis DOFA de cada escenario y levantamiento del panorama de riesgo. Se concluye con los riesgos identificados para las cuatro áreas de estudio visitadas, 1) Antártica Isla Rey Jorge, 2) Desierto de la Tatacoa, 3) Desierto de Villa de Leyva, 4) Nevado del Ruíz y sus medidas de mitigación.

**Palabras clave:** Desierto, Ecosistema, Escenarios, Innovación, Riesgo.

## 1. INTRODUCCIÓN

A través de la historia espacial, ha sido característica la naturaleza compleja de las misiones espaciales, para lo cual se requiere de una extensa preparación antes de su realización. Esta preparación requiere no solo la prueba de equipos sino también enfrentar a las tripulaciones al ambiente hostil para el entrenamiento que permitan el manejo y mitigación de diferente tipo de emergencias, así como para el conocimiento de las condiciones de trabajo a las que se pueden enfrentar (Deems & Baroff, 2008).

Es así como desde las primeras misiones Apolo, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) realizó las pruebas de sus equipos y misiones con el uso de misiones análogas espaciales. En sus inicios, estas misiones eran llamadas salidas de campo geológicas (GFT: Geology field trips), las cuales fueron conducidas en sitios remotos donde las características geológicas, terreno y/o climas eran similares a los de la superficie lunar. Así, en 1963, los astronautas de NASA Buzz Aldrin, Neil Armstrong y Michael Collins, realizaron las primeras misiones análogas en el Lago Cinder en Flagstaff Arizona y fueron entrenados en la recolección de muestras geológicas con herramientas especiales y sistemas de comunicación (NASA, 2009). En sus orígenes, estas misiones análogas se continuaron hasta 1972 e incluyeron sitios como Hawái, Minnesota, Nevada, Nuevo México, Texas, el Gran Cañón Canadá, Islandia y Panamá dependiendo de las condiciones que la simulación requiriera (NASA, 2009). En 2004, NASA reactivó este tipo de misiones y en la actualidad incluyen diferentes locaciones tales como Antártica y fondos marítimos (NASA, 2009).

En la actualidad diversos países y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales utilizan estas facilidades para la realización de actividades de ciencia, tecnología e innovación en el campo espacial. Entre sus áreas de interés se encuentran, (Urbina et al., 2017) Comunicaciones, Estudios de comportamiento humano en ambientes confinados y/o extremos, Cambios fisiológicos en ambientes confinados y/o extremos, preparación para astronautas, Misiones para estudios ambientales, biología y geología entre otros, pruebas de equipos en ambientes (Peter Rathsmann, 2008). Las condiciones de hábitat de las misiones espaciales son bien conocidas por su confinamiento y extrema distancia de la tierra; estas condiciones en conjunto son simuladas en tierra para estudiar las posibles reacciones de las tripulaciones a las mismas y estrategias para mitigarlas. Sin embargo, recientemente el espectro de escenarios incluye asentamientos

humanos en Marte, actividad Extra vehicular en asteroides, Luna y Marte (Hoppenbrouwers et al., 2016), y condiciones para viajes espaciales de larga duración (Anglin & Kring, 2016). Por lo anterior, los análogos espaciales ofrecen una forma económica para la realización de diferentes pruebas y entrenamientos antes de realizar una misión espacial y permiten un alistamiento operacional.

La investigación planetaria análogica (APR) es el desarrollo y prueba de estrategias, incluidas las científicas, técnicas, aspectos operativos, sociales y médicos en simulación entornos espaciales o planetarios para la aplicación de misiones de exploración espacial tripuladas y robóticas.(Hettrich et al., 2015) Este tipo de misiones de exploración espacial son complejas y retadoras, aun mas cuando participan tripulaciones humanas, se debe incluir tecnologías y operaciones que protejan los humanos y el hardware del ambiente hostil espacial y provea el mejor soporte desde tierra y asistencia robótica que permita la producción científica.(NASA, 2011). En este contexto, se requieren facilidades en la Tierra que permitan la integración de múltiples elementos con similitudes a los entornos de las misiones o análogos al espacio, estas facilidades se conocen como misiones análogas. Los viajes espaciales humanos, científicos e ingenieros han buscado análogos apropiados para misiones extremas en los cuales se pueda evaluar el desempeño humano en busca de mejoras para los diseños de ingeniería, requisitos médicos, desarrollo de contramedidas para los riesgos de operación y aspectos de seguridad operacional. (Robinson, 2020).

Entre las facilidades encontradas a nivel mundial se tienen: El Human Exploration Research Analogue (HERA) ubicado en el Centro Espacial Johnson de NASA figura, consiste en un hábitat confinado el cual provee escenarios y ambientes para la realización de investigaciones relacionadas con el comportamiento humano, manejo de los recursos a bordo de la nave espacial y diferentes investigaciones para futuras misiones tripuladas espaciales (*Analog ( HERA ) Facility and Capabilities Information*, 2019). De igual forma el Human Exploration Spacecraft testbed for integration and Advancement (HESTIA) localizado en Nueva York, permite de forma local, la realización de pruebas en sistemas humanos y no humanos, pruebas de precertificación y certificación. Posee también manejo de gases ambientales para evaluación de fisiología humana y determinar protocolos en misiones de espacio profundo (For, 2016).

La Antártica es uno de los escenarios más extremos análogos, en este se realizan

principalmente estudios en condiciones aislamiento y confinamiento, estos han servido para realizar pruebas de equipos, trajes espaciales, estudios de microorganismos entre otros. La NASA ha realizado misiones en las bases de Mc Murdo y Palmer, en las que realizan estudios de biología radiación y pruebas de equipos (NASA, 2021), mientras que la base Concordia es la estación que emplea la Agencia Espacial Europea para estudios de comunicaciones, confinamiento, aislamiento, entre otras (ESA, 2021). Así mismo el proyecto IBMP Ground-Based Experimental Complex / Nazemnyy eksperimental'nyy kompleks (NEK) ubicado en Moscú Rusia, tiene capacidad para 10 personas y permite el desarrollo de estudios en fisiología, psicología y procesos operacionales. El estudio más conocido aquí realizado fue el de MARS 500 (SSC RF, 2013).

En el mismo orden de ideas, las misiones análogas en desierto permiten explorar condiciones de extrema distancia de la tierra, en ellas se han realizado pruebas de equipos, comunicaciones, condiciones fisiológicas y psicológicas, así mismo estudio de trajes espaciales. Este tipo de escenarios se asemejan a misiones en Marte y han sido utilizadas por la NASA, la Agencia Espacial Europea y organizaciones no gubernamentales como el foro espacial Austriaco. Muchas han sido las lecciones aprendidas de las misiones análogas espaciales y su extrapolación a misiones de larga duración; sin embargo, es conocido que estas albergan características de población anglo-europea debido a la localización de las diferentes facilidades. Entre las más conocidas se encuentran las dificultades de interacción y riesgo de ejecución óptima de tareas de las tripulaciones (Landon et al., 2018), lo que ha generado sin número de misiones para determinar características de los tripulantes con el fin de conformar los mejores equipos de trabajo. Pese a estos esfuerzos, pocos latinoamericanos han participado en este tipo de misiones, entre los más conocidos se encuentra el ingeniero Diego Urbina quien participó en la Misión MARS 500 liderado por Roscosmos, (ESA, 2020).

Teniendo en cuenta que centro y Latinoamérica cuentan con escenarios naturales que pueden ser utilizados como locaciones para misiones análogas tales como desiertos, nevados y cuevas, se hace necesario crear facilidades que no solo permitan desarrollar estudios para la población académica latinoamericana, sino también para promover alianzas internacionales, que permitan realizar misiones análogas con tripulaciones mixtas y, por ende, incrementar el conocimiento en temas espaciales.

Una primera aproximación a los posibles escenarios en Colombia fue realizada por Ojeda

Ramírez y Pardo (Ramírez & Spiess, 2017), en 2017, en el cual se describen diferentes locaciones naturales con potencial para ser utilizados en misiones espaciales Análogas, entre las que se encuentran el desierto de la Tatacoa, el desierto de Candelaria en Villa de Leyva, desierto de la Guajira, desierto de Sabrinsky, Nevado del Ruiz y la Sierra Nevada de Santa Marta entre otros. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con un panorama de riesgos de los sitios que en Colombia pueden ser utilizados como escenarios naturales para misiones análogas espaciales.

Por lo anterior, esta investigación tiene como objetivo identificar los riesgos de 4 escenarios naturales en Colombia con potencial para ser utilizados en misiones espaciales análogas. Para lo cual, se presentan los resultados de un análisis de riesgos utilizando matrices de riesgos siguiendo la metodología de la Guía ISO 2001-2015, de algunas locaciones naturales colombianas con potencial para la realización de misiones espaciales análogas, los cuales servirán de base para la futura planeación y ejecución de estas.

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portalIG/home\\_18/recursos/01\\_general/contenidos/13052008/rev\\_tec\\_avanzada.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portalIG/home_18/recursos/01_general/contenidos/13052008/rev_tec_avanzada.jsp)

## 2. METODOLOGÍA

La guía ISO 9001-2015 (Organismo Internacional de Estandarización -ISO-, 2015), que es el estándar internacional para la certificación de sistemas de gestión, ha incorporado como parte de sus procesos el análisis de riesgos, considerado como uno de los pasos más novedosos para la identificación de los posibles problemas que puedan surgir en la organización, que en este caso corresponde de manera explícita a las operaciones del proyecto en cada escenario de estudio. Como parte del proceso de análisis del riesgo, el primer paso para intervenir en los peligros es tenerlos claramente identificados y definidos para que las acciones de prevención estén bien orientadas y tengan un impacto significativo (Cruz-Medina et al., 2017).

Para lograr el objetivo de la presente investigación se realizó un levantamiento de panoramas de riesgo en cada escenario en 6 perspectivas (Biológico, químico, físico, psicosocial, biomecánico y fenómenos naturales). Siguiendo lo establecido en la guía ISO 9001-2015, se determinaron las relaciones entre probabilidad y consecuencia de estos. En la tabla 1, se muestra la matriz de probabilidad y consecuencia utilizada.

*Tabla 1: Matriz de probabilidad y consecuencia*  
*Fuente ISO 9001-2015*

PROBABILIDAD	CONSECUENCIA DEL RIESGO			
	Crítico	Serio	Moderado	Menor
	10	6	4	1
Frecuente (10)	100	60	40	10
Ocasional (7)	70	42	28	7
Remoto (4)	40	24	16	4
Improbable (1)	10	6	4	1

Con la información anterior se estableció por cada clasificación la descripción del riesgo y su aceptación, el cual se puede visualizar en la Tabla 2. Esto, en conjunto con el tiempo de gestión requerido.

*Tabla 2: Clasificación del riesgo y gestión.*  
*Fuente los autores*

Nivel de probabilidad	Clasificación del riesgo		
Aceptable	Acceptable sin necesidad de control de riesgos. Se puede implementar el control de riesgos si se considera.	1-7	25%
Moderado	Es necesario hacer un estudio detallado para poder implementar un sistema de control de riesgos.	8-28	50%
Tolerable	Es necesario su limitación y se acepta el riesgo en algunos casos que el beneficio supere el riesgo.	29-40	75%
No aceptable	Riesgo inaceptable, no se puede operar bajo estas condiciones.	41-100	100%

Se realizó una investigación con enfoque de tipo cualitativo descriptivo observacional. Desde el aspecto cualitativo, se analizaron fuentes bibliográficas (libros y revistas académicas) asociados con misiones, operaciones análogas y sus aplicaciones, descripción y caracterización de escenarios espaciales y seguridad operacional en ambientes extremos. Por su parte, desde el ámbito descriptivo observacional, se realizaron visitas de campo entre el 17 de enero y el 07 de noviembre de 2021, donde se tuvo en cuenta los elementos que retroalimentan los niveles de probabilidad para la evaluación de los riesgos de los escenarios escogidos para la investigación.

Durante el desarrollo investigativo se utilizó la Matriz de caracterización del panorama de riesgos basado en la guía ISO 9001-2015. Para la medición de parámetros ambientales se utilizaron

los siguientes equipos: Sonómetro, luxómetro y termohigrómetros.

La investigación se realizó a partir de las siguientes fases:

1. Revisión bibliográfica y webgrafía, para identificar programas de misiones análogas a nivel mundial y estudios sobre implementación a nivel internacional y entrevistas a expertos

2. Visita a lugares con potencial para la realización de misiones análogas espaciales, para evaluar riesgos generales de cada sitio. Los lugares seleccionados fueron los siguientes: Desierto de Villa de Leyva, desierto de la Tatacoa, parque de los nevados (Nevado del Ruiz) y Antártica (Isla Rey Jorge) en el Marco del Programa Antártico Colombiano

3. Levantamiento del panorama de riesgo para cada escenario.

Para el análisis de la información obtenida a partir de la implementación de los instrumentos, se utilizaron rejillas (Tapia, 2001) de evaluación a través de las cuales se valoró en cada uno de los factores de los niveles de riesgo de cada escenario.

### 3. RESULTADOS

A partir de una revisión de literatura especializada de la fase 1, sobre el desarrollo y aplicaciones de las misiones espaciales análogas, se identificó un amplio rango de disciplinas que participan en el desarrollo de misiones y operaciones análogas y las cuales se benefician de estas plataformas, siendo clasificados y descritos en la tabla 3.

*Tabla 3: Relación temática de la bibliografías y webgrafías consultadas para el proyecto. Fuente los autores*

Bibliografías y webgrafías consultadas para el proyecto	Número de artículos relacionados	%
Educación	8	14%
Comunicación	5	9%
Pruebas de equipos en ambientes extremos (Rover-trajes espaciales)	9	16%
Estudios de comportamiento humano y cambios fisiológicos en ambientes confinados y/o extremos	13	22%
Preparación de astronautas	9	16%
Misiones para estudios ambientales, biología, geología y afines	7	12%
Descripción y caracterización de escenarios espaciales y/o análogos	4	7%

Seguridad operacional en ambientes extremos	3	5%
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>100 %</b>

Durante la fase 2, se identificaron los mejores lugares de cada área de estudio para posibles escenarios análogos en Colombia, en donde se realizó un levantamiento de panorama de riesgos y medición de parámetros ambientales (Ver Tabla 2 y 3). A continuación, se presenta una breve descripción de las locaciones naturales visitadas.

### 3.1 Desierto de la Tatacoa

Ubicado en el municipio de Villavieja, departamento del Huila; geográficamente se encuentra a 3°13' de latitud norte y 75°10' de longitud oeste, a una altura de 386 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 26° C.

Dentro del desierto de la Tatacoa se visitó el escenario conocido como “Barceloza” de administración privada (Ver Figura 1A), el cual se caracteriza por tener un terreno semiplano, algunas partes erosionadas y cruzada por cañones secos, tiene una dimensión aproximada de 100 mt<sup>2</sup>. Se encuentra a 200 metros de una vía terciaria, a 500 metros de la vía secundaria y 30 minutos del municipio.

Adicionalmente, fue identificado un segundo escenario conocido como “Cuzco” (Ver figura 1B) de administración gubernamental, el cual se caracteriza por tener un terreno semiplano, aislado de turistas, cuenta con un diámetro aproximado de 200 mt<sup>2</sup>; se encuentra a 500 metros de una vía terciaria, a 1 km de la vía secundaria y 45 minutos del municipio.



Fig. 1. Escenarios misiones análogas. Desierto de la Tatacoa. Noviembre de 2020. Fuente Los autores

### 3.2 Desierto de Villa de Leyva

Ubicado en la provincia de Ricaurte del departamento de Boyacá, con una altitud de 2.149 m s. n. m., se encuentra a 40 km al occidente de Tunja, capital del departamento, con coordenadas 5°37'59"N 73°31'32"O. En este lugar se identificaron dos escenarios similares que en conjunto se llaman “Los Migueles” (Ver Figura 2A-2B), los cuales presentan un terreno semiplano, y se localizan cerca de una quebrada de agua, cerca de zonas rocosas donde puede generar riesgo de deslizamientos. Adicionalmente, el desierto esta cercano a los oleoductos de crudos nacionales, los cuales están en constante monitoreo en caso de algún derrame de este químico, cuenta con centros asistenciales cercanas en el caso de emergencia. Cada uno tiene un diámetro aproximado de 250 mt<sup>2</sup> y se encuentran, a 200 metros de la vía secundaria.

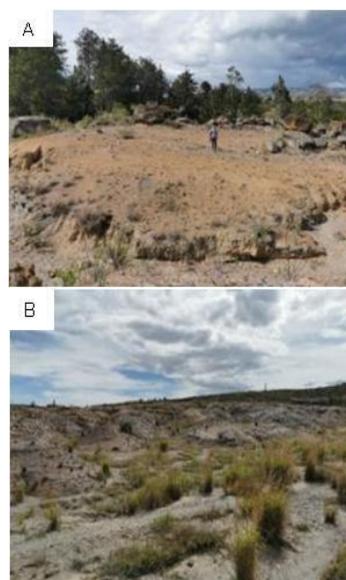


Fig. 2. Escenarios misiones análogas. Desierto de Villa de Leyva. Noviembre de 2020. Fuente: Los autores

### 3.3 Nevado del Ruiz

Se encuentra a 220 km al occidente de Bogotá y hace parte de la cordillera de los Andes, específicamente del macizo volcánico Ruiz-Tolima (o cordillera Central), tiene una latitud: 4° 53 43 N, longitud: 75° 19 21 O y una altura 5.321 m.s.n.m.

Dentro del Nevado del Ruíz, se identificó un escenario en el Valle de las tumbas a 4.540 m.s.n.m, el cual cuenta con un terreno plano, semejante a las condiciones de la Luna, con un diámetro aproximado de 500 mt<sup>2</sup>, a 100 metros de la vía secundaria, está expuesto a erupción volcánica y presenta climas agresivos en épocas de lluvias, como se puede apreciar en la figura 3.



Fig. 3. Escenarios misiones análogas. Nevado del Ruíz. A- valle de las Tumbas. Noviembre de 2020. Fuente los autores

### 3.4 Isla Rey Jorge – Antártica

En el marco de las actividades del Programa Antártico Colombiana – XI expedición científica, se realizó un desplazamiento hacia la Isla Rey Jorge en un vuelo C-130 de la Fuerza Aérea Colombiana.

En la Isla Rey Jorge, se realizaron inicialmente visitas de exploración para conocer precauciones para salidas de campo y en donde se conocieron las experiencias de otros países y organizaciones para implementar un refugio temporal Antártico, contemplando los riesgos y necesidades de los posibles escenarios en ambientes extremos. Para ello, se realizó revisión teórica de los protocolos de emergencia y riesgos presentados en el terreno Antártico de la base Aérea Antártica PDTE. E. FREI M.” (Base Aérea De Chile).

Posteriormente, se realizaron tres salidas de campo para identificar posibles escenarios con mayor viabilidad para misiones espaciales análogas (Ver Figura 4A-4B-4C), donde se aplicó la matriz de peligros teniendo en cuenta su uso como terrenos para refugios temporales.

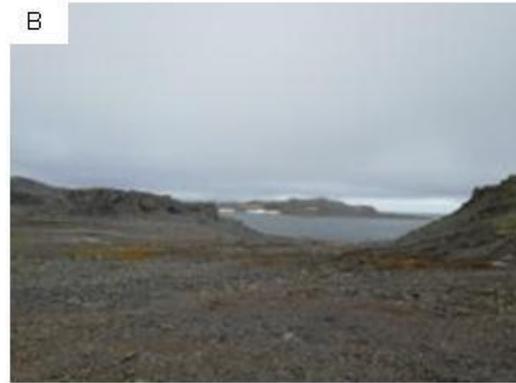


Fig. 4. Escenarios misiones análogas. Antártica. Isla Rey Jorge. Fuente: A- B-C Imágenes del proyecto. Fuente los autores

La Antártica por su ubicación austral presenta un cambio en el ciclo día Noche, entre los meses de Enero a Marzo hay iluminación natural de día las 24 horas del día y entre los meses de Mayo a Julio es de noche las 24 horas del día. El soporte logístico dentro de la Antártica (Transporte, soporte de comunicaciones y emergencias) debe ser coordinado con la base del país cooperante con el que se realice la misión.

### 3.5 Panoramas de Riesgo y medidas de mitigación

Las tablas 2 y 3, muestran las diferencias ambientales y de riesgos que presentan los diferentes escenarios visitados para la investigación.

El propósito del levantamiento del panorama de riesgos no es sólo su identificación sino también la planeación de las acciones que se deben realizar para su mitigación, con el fin de realizar una misión espacial análoga de forma segura y exitosa.

En este contexto se puede observar cómo los escenarios en desierto (Tatacoa y Villa de Leyva) comparten riesgos, los cuales son comunes a este tipo de geografías tales como la picadura por animales ponzoñosos y serpientes venenosas los cuales se encuentran en u riesgo del 50% o moderado, este riesgo se puede mitigar con un

adecuado entrenamiento de la tripulación y de las personas de soporte logístico para la identificación y manejo de las mismas, así como tener calzado adecuado tipo bota de material grueso para reducir el riesgo de picadura o mordedura.

Para los cuatro escenarios es común el riesgo Biológico tipo virus, el cual cambia dependiendo del escenario, así en los desiertos los virus de mayor riesgo son los transmitidos por insectos como son dengue y Chikunguña con un riesgo del 100%, el cual se puede mitigar con el uso de repelentes en los desplazamientos y un aislamiento y adecuado aseo de instalaciones en el caso que se cuente con un hábitat. Para los escenarios de Clima frío como son el Nevado del Ruiz y la Antártica el riesgo esta principalmente dado por los virus de transmisión respiratoria como son el virus de la gripe y el reciente SARS-COVID-19 con un riesgo del 25%, puede ser mitigado por medidas de tamizaje y autocuidado días antes del inicio de la misión y debe ser planteada un cambio de la persona afectada en caso de ser detectada antes de la misión para evitar transmisión.

En el grupo de riesgos biológicos, en Antártica se puede presentar la mordedura por animales marinos con un riesgo aceptable del 25% cuando la misión análoga se realice cerca de la costa marina, por lo que, si la misión requiere este tipo de operación, se debe acudir a apoyo por un grupo de biólogos de la Base cercana para no afectar el ecosistema.

En riesgos de tipo físico se enmarcan en Temperaturas extremas, altos niveles de iluminación y radiación no ionizante proveniente de los rayos del sol. En los escenarios desérticos el principal riesgo esta dado por la hipertermia y lesiones ocasionadas por el calor, con un riesgo aceptable del 25% ya que es fácilmente mitigable desde la planeación de la misión controlando los tiempos de exposición y con la educación de los participantes en el uso de bloqueador solar, gafas de sol o cascos de traje análogo con filtro UVA y UVB, así como una indumentaria adecuada para este tipo de regiones. En los escenarios de Antártica y Nevado del Ruiz, el riesgo se traduce en riesgo de Hipotermia y lesiones generadas por frío, para lo cual la vestimenta según la fase de la misión debe contener el manejo de capas térmicas y telas cortavientos, así como el uso de cubrecabezas con protección de orejas y pasamontañas, en caso de traje espacial análogo, se debe tener en cuenta el manejo de regulación térmica del mismo y el uso de una primera capa como mínimo.

Desde el punto de vista de los riesgos biomecánicos, se encuentran los riesgos posturales, que son aquellos derivados de los movimientos realizados en el contexto de la misión. En los escenarios de desierto, este riesgo es mayor o MODERADO (50%) debido a la presencia de rocas y colinas que pueden aumentar el riesgo de caídas, contrario a los escenarios en el nevado del Ruíz donde, aunque hay menos rocas, el riesgo se reduce a un 25% dado por la humedad y el permafrost y la presencia de nieve que puede precipitar caídas por resbalamiento.

A nivel psicosocial se identificaron dos grandes riesgos, el primero común a todos los escenarios con un nivel Moderado del 50% es la Gestión Organizacional a nivel de comunicación con las entidades que regulan cada uno de los sitios o con los entes de emergencias, lo cual se debe tener en cuenta en la planeación de las misiones. Así mismo, el otro riesgo es el paso de turistas cerca de las zonas con potencial para ser plataforma de misiones análogas, donde es de mayor riesgo a un nivel aceptable del 25% en el Desierto de Villa de Leyva.

En términos de fenómenos naturales, se encuentran las lluvias (precipitaciones), vendavales, deslizamientos de tierra y derrumbes, los cuales solo se pueden mitigar con una adecuada planeación de la época en la que se realiza la misión análoga y durante su ejecución con una comunicación continua del equipo de soporte remoto con los entes de emergencias para el monitoreo continuo de eventos naturales.

### 3.6 Recomendaciones

Se debe tener en cuenta para la toma de datos en los escenarios seleccionados, se realizó un análisis meteorológico histórico del cual eran las mejores condiciones medio ambientales para la reducción de riesgos durante el estudio.

El mismo panorama de riesgo debe ser realizado en caso de que se necesite para otras condiciones ambientales, si se planea una misión mayor de 2 meses, el cual sería el promedio que las ventanas meteorológicas cambien.

Para llevar a cabo la realización de actividades en la Antártica, se debe tener en cuenta los veranos australes, porque es la mejor época del lugar para la investigación y turismo.

En el desierto de la Tatacoa se debe tener en cuenta que el mes con el mayor número de días lluviosos es noviembre (18 días) y el mes con el número más bajo es agosto (2.20 días) (CLIMATE-DATA.ORG, 2021c). Para el desierto de Villa de Leyva, el mes con el mayor

número de días lluviosos es marzo (27.03 días). El mes con el número más bajo es agosto (12.77 días) (CLIMATE-DATA.ORG, 2021b). Mientras para el Nevado del Ruiz, el mes con el mayor número de días lluviosos es mayo (29.5 días). Los meses con el número más bajo es enero (11.6 día) (CLIMATE-DATA.ORG, 2021a). Las lluvias son intermitentes o sorpresivas en el nevado. Esto hace que la planeación sea mucho más sigilosa que lo que pueda hacer en el desierto de la Tatacoa y Villa de Leyva.

Restringir las actividades fuera del hábitat en horas nocturnas, en caso de que se requiera salir del hábitat, asegurarse que no entre algún animal al lugar.

Para la picadura o mordeduras de vectores, se debe tener en cuenta lo siguiente: No acercarse a los paneles de abejas ni a nidos de avispas. Si lo hace retírese lentamente. Si una abeja o avispa se acerca a su cuerpo no intente matarla ni espantarla, permanezca lo suficientemente quieto para que de esta forma se aleje. Si se van a realizar actividades externas del hábitat o refugio no salir sin zapatos, utilizar pantalón largo, botas altas de cuero o de goma gruesa por debajo de los pantalones, no tocar las serpientes, ni siquiera, aunque esté muerta. algunas se quedan quietas para que no las ataquen, no levantar piedras o troncos con las manos desprotegidas, ni meter las manos en agujeros (TORRES. et al., 2016).

Para los escenarios con altas temperaturas, se debe ajustar las instalaciones según los objetivos de interés, para esto se podría facilitar la adecuación del escenario con aire acondicionado y reductor de humedad relativa. Para actividades fuera del hábitat, se debe tener en cuenta que en las épocas más calurosas reducir el tiempo de exposición al sol, tratando de evitar, especialmente, la franja horaria comprendida entre las 12 y las 17 horas, realizar a primera hora, con menor radiación solar, las tareas que requieran mayor esfuerzo, evitar el trabajo en solitario durante el desarrollo de tareas en zonas peligrosas, aisladas o de acceso restringido, es importante el consumo de líquidos antes, durante y después de la exposición al sol (Por et al., 2018).

Para los escenarios con bajas temperaturas, se debe planificar los descansos de forma periódica en lugares acondicionados, deberán realizarse pausas y descansar siempre que sea necesario, Evitar el trabajo en solitario durante el desarrollo de tareas en zonas peligrosas, aisladas o de acceso restringido, utilizar ropa adecuada para aislar el frío, proteger contra el viento y la lluvia, y eliminar parcialmente la transpiración (Por et al., 2018).

En temas de inundación existe una alta probabilidad que sea uno de los riesgos de mayor importancia dentro el panorama de riesgo el cual se vería afectado el desarrollo de la misión, en todos los lugares de estudios, el cual se debe hacer una buena planificación de asentamientos humanos y de obras de infraestructura y mantenimiento permanente de canales de aguas lluvias y de colectores cercas de los escenarios. Igualmente pasa en vendavales con excepción del desierto de la Tatacoa. (OSSO, 2021).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el desierto de la Tatacoa, se identificaron dos (02) posibles terrenos para la implementación de un laboratorio temporal en misiones análogas espaciales, los lugares se asemejan al planeta Marte, porque cuentan con características tales como: terreno rocoso, arena de color rojizo, desértico y aislado, siendo estas unas fortalezas muy importantes para estos escenarios, pero esto a su vez tiene una desventaja o dificultad que son las altas temperaturas, las cuales pueden llegar hasta los 40°C, esto puede tener un alto riesgo para el personal donde pueden sufrir síndromes asociados al calor. Se requiere adaptación de las personas y de las instalaciones según los objetivos de interés de la misión, para esto se podría facilitar la adecuación del hábitat con aire acondicionado y reductor de humedad relativa. En este tipo de laboratorio se podrían llevar a cabo misiones tripuladas, donde se realicen estudios de investigación relacionadas con el rendimiento cognitivo, fisiológico, psicológico y carga de trabajo en tripulaciones que sean sometidas a condiciones de aislamiento y confinamiento en el hábitat por determinados días.

En el desierto de Villa de Leyva, se identificaron dos (02) posibles escenarios llamados “Los Migueles” los cuales se asemejan al planeta Marte, porque cuentan con características tales como: terreno semiplano, desértico y aislado. Adicionalmente, estos dos escenarios cuentan con una reserva de agua cercana, clima cálido sin llegar a temperaturas muy altas históricamente, pero en el cual es muy poco probable que existan riesgos por altas temperaturas, control de la seguridad, puestos de salud cercanos a los puntos y servicios de bomberos inmediato. Sin embargo, estos escenarios están relativamente cerca de una vía secundaria, el cual puede perjudicar el desarrollo de las misiones por ser una zona turística, aunque pueden ser útiles a futuro para posibles pruebas de equipos de robótica y drones exploratorios en el área espacial.

En el Nevado del Ruiz, se identificó un (01) escenario en condiciones extremas, donde se asemeja a la Luna por las características del lugar tales como: terreno semiplano, aislado y arena de color gris con fragmentos de rocas. El lugar está ubicado en el valle de las tumbas, este escenario no se recomienda la instalación de un hábitat espacial temporal para entrenamiento de astronautas análogos, por la actividad geológica del volcán, inestabilidad en su comportamiento y el clima es más agresivo por las bajas temperaturas en comparación a los desiertos de Villa de Leyva y la Tatacoa. En el Valle Lunar se pueden encontrar con temperaturas muy bajas y una altitud sobre el nivel del mar, el cual estas características ambientales pueden afectar a las personas con condiciones de hipotermia y edema pulmonar. Adicionalmente, los escenarios escogidos en este lugar pueden ser visitados por turistas, causando afectación en el desarrollo de las investigaciones por parte de la tripulación análoga. En este sentido, en el Valle Lunar se pueden llevar a cabo misiones análogas, siempre y cuando se extremen medidas de seguridad, se tomen en cuenta las recomendaciones de Parques Nacionales y secretaria Distrital de Ambiente, se pueden desarrollar investigaciones en el área espacial que no dependan de una infraestructura especializada proyectos de investigación tales como: pruebas de robótica, estudios de materiales para uso espacial, sistemas de comunicaciones y estudios de comportamiento humano en condiciones de estrés en temperaturas extremas.

La Antártica es un continente extremo y complejo para vivir, se puede asemejar a la Luna, en estos escenarios de difícil acceso se pueden encontrar ciertas restricciones en el manejo de desechos, mientras que los otros lugares expuestos con anterioridad no, sin embargo, las actividades en la Antártica están reguladas por el Tratado Antártico, el cual dispone de fases para el manejo de desechos, esto hace más alto el riesgo. Igualmente, los escenarios Antárticos tienen temperaturas muy bajas las cuales pueden producir riesgo de hipotermia, congelación y deshidratación, estos tipos de riesgos pueden ser mitigados si se aplican las siguientes recomendaciones:

- Usar prendas térmicas para los puntos corporales que pierden calor más rápido, cabeza, orejas, manos y pies.
- Usar guantes en polartecimpermeables, preferiblemente con una capa interna.
- No usar guantes o calzados de cuero, aceitados o engrasados, porque impiden la evaporación de la transpiración.
- Varios pares de medias térmicas idealmente.

- No usar anillos u objetos metálicos en contacto con la piel.
- Mantener la ropa seca, evitando la acumulación de nieve sobre ella.

En la Isla Rey Jorge - Base Chilena en Antártica, existen espacios limitados para turistas, en este caso las misiones no se verán afectadas en estos escenarios. Estos escenarios generan un buen componente de interacción social por la realización de actividades en cooperación con países hispano y angloparlantes, especialmente pensando en misiones de aislamiento y confinamiento, pruebas de equipos, caminatas con trajes espaciales, robótica, aptitud y cambios fisiológicos del cuerpo humano en ambientes extremos, estudios de fauna y flora, radiación y ondas electromagnéticas, entre otras, lo que permitiría una mayor semejanza con misiones reales.

Se debe tener en cuenta, que la evaluación de esta investigación se realizó en la época del verano austral 2019-2020, las condiciones fueron óptimas para el desempeño de las actividades, por tanto, no se evaluó riesgo de deslizamiento, bajas temperaturas y vientos fuertes, sin embargo, según la información de las bases cuando se aproxima el invierno el permafrost se convierte en un riesgo de deslizamiento.

Para los diferentes escenarios, se debe establecer un plan de trabajo para cada tipo de misión de acuerdo con el ambiente trabajado para minimizar los riesgos de accidentes, lesiones o emergencias que puedan ocasionar retrasos e inconsistencias en los resultados del experimento. Se debe tener en cuenta el entrenamiento de la tripulación en emergencias simuladas para resolución efectiva y toma de decisiones de acuerdo con el caso. De igual forma, se debe contar con personal de evaluadores expertos interdisciplinarios para el análisis y conclusión de resultados generando un plan de mejoramiento para próximas misiones. Para llevar a cabo misiones que requieren mayor permanencia por más de un día, se requiere establecer contacto con los entes de control de cada sitio.

De la presente investigación se puede concluir que las misiones análogas espaciales, en la actualidad incluyen la evaluación de nuevas tecnologías, robots, vehículos espaciales, hábitats para la supervivencia humana, comunicaciones, aislamiento, confinamiento y observación de la psicología humana, así como exploración ambiental en busca de vida fuera del Tierra. Este tipo de misiones simuladas, pueden ser desarrolladas por agencias espaciales, por organizaciones científicas, instituciones privadas y mixtas, que trabajen en temas espaciales y que

busquen la participación colectiva, teniendo el mismo mérito que las realizadas por agencias espaciales reconocidas.

De acuerdo con la bibliografía y webgrafía revisada, las características de los ambientes análogos dependen del objetivo de simulación que se quiera lograr. Por lo cual, las misiones análogas pueden variar desde simples configuraciones de laboratorio hasta ampliar misiones multinacionales realizadas en ambientes extremos. En Colombia y en la Antártica, se pueden desarrollar misiones análogas en diferentes ambientes de investigación como son: desiertos, ambientes acuáticos, volcanes, cuevas, instalaciones confinadas bajo el agua, instalaciones aisladas y atmosferas de alta altitud, este estudio exploró el Desierto de la Tatacoa, el Desierto de Villa de Leyva, el Nevado del Ruíz y la Isla Rey Jorge en Antártica, generando oportunidades para proyectar a Colombia en el desarrollo espacial.

Los grupos o instituciones que decidan realizar misiones espaciales análogas en ambientes naturales deben realizar una adecuada planeación basada en los riesgos aquí identificados y una actualización de estos según la época del año en la que se planea la misma.

## 5. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecimiento a Dios por la oportunidad de hacer parte de un proyecto de investigación muy interesante e importante para la Fuerza Aérea Colombiana y el país.

Agradecimientos a la Fuerza Aérea Colombiana y a los señores Comandantes por el apoyo, confianza y financiación para el desarrollo de esta investigación, el cual tuvo como objetivo aportar al programa espacial FAC y programa Antártico Colombiano.

Agradecimiento al equipo de trabajo del Centro de Investigaciones Biomédicas Aeronáuticas y Espaciales- CIBAE y a la Dirección de Medicina Aeroespacial-DIMAE, por el compromiso y responsabilidad ante la ejecución del proyecto.

Agradecimiento a la Dra. María Alejandra Corzo Zamora, por la iniciativa en temas de misiones análogas en la Fuerza Aérea Colombiana, también aportando su conocimiento, sus valiosas sugerencias en momentos de duda y tiempo para el desarrollo de esta investigación.

Agradecimientos al Programa Antártico Colombiano (PAC), por el apoyo, gestión y coordinación correspondientes a transporte, alojamiento y vestuario para los señores

investigadores en la salida de campo en la Antártica.

## REFERENCIAS

- Analog ( HERA ) Facility and Capabilities Information. (2019). July.
- Anglin, K. M., & Kring, J. P. (2016). Lessons from a space analog on adaptation for long-duration exploration missions. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(4), 406–410. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4489.2016>
- CLIMATE-DATA.ORG. (2021a). *CLIMA NEVADO DEL RUIZ (COLOMBIA)*. CLIMATE-DATA.ORG.
- CLIMATE-DATA.ORG. (2021b). *CLIMA VILLA DE LEYVA (COLOMBIA)*. CLIMATE-DATA.ORG.
- CLIMATE-DATA.ORG. (2021c). *CLIMA VILLAVIEJA (COLOMBIA)*. CLIMATE-DATA.ORG.
- Cruz-Medina, F., López-Díaz, A., & Ruiz-Cardenas, C. (2017). Sistema de gestión ISO 9001-2015: Técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 17(1 SE-ARTICULOS). <https://doi.org/10.19053/1900771X.v17.n1.2017.5306>
- Deems, E., & Baroff, L. (2008). *A Systems Engineering Process for the Development of Analog Missions for the Vision for Space Exploration*. <https://doi.org/10.2514/6.2008-7899>
- ESA. (2020). *SCIENCE & EXPLORATION-DIEGO URBINA*. ESA.
- ESA. (2021). *The remotest base on Earth*. ESA.
- For, E. (2016). *HESTIA Integration and Test*. May.
- Hettrich, S., Napier, L., Felix, C. V., Kolodziejczyk, A., Perakis, N., Elorza, I. M., Alizade, A., Ghasemzadeh, L., Khan, M. S., & Pfeil, I. (2015). The Importance of Analog Planetary Research for Success and Safety of Human and Robotic Space Missions. *Space Safety Is No Accident*, 7, 285–293. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9_34)
- Hoppenbrouwers, T., Urbina, D., Boyd, A., Imhof, B., Mohanty, S., Weiss, P., & Diekmann, A. (2016). Analogues for preparing robotic and human exploration on the moon. *SpaceOps 2016 Conference*, May. <https://doi.org/10.2514/6.2016-2353>
- Landon, L. B., Slack, K. J., & Barrett, J. D. (2018). Teamwork and collaboration in long-duration space missions: Going to extremes. *American Psychologist*, 73(4), 563–575. <https://doi.org/10.1037/amp0000260>

- NASA. (2009). *Past and Present: Field Testing For the Moon 07.28.09*. NASA.
- NASA. (2011). *NASA's Analog Missions: Paving the Way for Space Exploration*. 35.
- NASA. (2021). *Analog Missions*. NASA.
- OSSO. (2021). *MITIGACIÓN INUNDACIONES*. OSSO.
- Peter Rathsmann. (2008). *Paving the Way for Future Exploration... The SMART-1 Mission to the Moon*. Peter Rathsmann. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73997-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73997-7_8)
- Por, L. O. S. M., El, L. O. S. Q. U. E., Recibe, H., & Calor, O. C. (2018). *Riesgos térmicos*.
- Ramirez, O. I. O., & Spiess, M. J. P. (2017). Terrestrial analogues to Mars, the Moon and microgravity: Analysis of research sites in Colombia as an emerging country in space activities. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*, 3(November), 1633–1641.
- Robinson, J. A. (2020). *International Astronautical Congress (IAC), Washington, DC, 21-25 October 2019*. Copyright ©2019 by National Aeronautics and Space Administration in all jurisdictions outside the United States of America. Published by the International Astronautical Federation. October 2019, 21–25.
- SSC RF. (2013). *The Project "MARS - 500."*
- Tapia, J. A. (2001). *Introducción a La Técnica De Rejilla*.
- TORRES., D. C. D., ALVARÁN., D. A. H., BENJUMEA., A. M. P., & PUERTA, J. A. T. (2016). *CAMPAÑA PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS ACCIDENTES POR ANIMALES PONZOÑOSOS EN LAS ZONAS RURALES VULNERABLES DE ANTIOQUIA*. DIANA CAROLINA DELGADO TORRES. DUVÁN ANDRÉS HENAO ALVARÁN. ANA MARÍA PÉREZ BENJUMEA. JOHAN ANDRÉS TÉLLEZ PUERTA.
- Urbina, D. A., Services, S. A., Madakashira, H. K., Services, S. A., Martinez-gonzalez, J., Services, S. A., & Taillebot, V. (2017). *Analogue capabilities for human-in-the-loop simulations of surface operations in training and research*. November.