



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

CARACTERÍSTICAS DE LA
TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE
TÓRAX EN CASOS DE COVID-19 EN
UNA POBLACIÓN HOSPITALIZADA DE
GRAN ALTITUD

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN MEDICINA

WALTER STIVE CALDERÓN GERSTEIN

LIMA – PERÚ

2026

ASESOR

MG. JORGE ENRIQUE ROJAS VERA

JURADO DE TESIS

DR. ANTONIO ORMEA VILLAVICENCIO

PRESIDENTE

MG. GUILIANA MAS UBILLUS

VOCAL

DRA. MONICA LOURDES FLORES NORIEGA

SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A mi familia; a mis hijos, Gerard y Mirella, a mi esposa, Sharon; a mis suegros, Emperatriz y Teófilo, mis segundos padres, y a mis padres, Amelia y Germán, ahora ausentes, pero siempre presentes en la mente y el corazón.

AGRADECIMIENTOS.

A mis coautores, el Dr Pazos Sovero y la Dra Torres Samaniego, y al Hospital Regional Docente Clínico-Quirúrgico de Huancayo por su invaluable apoyo

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis Autofinanciada

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	28	JULIO	2025
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	CALDERÓN GERSTEIN WALTER STIVE		
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN MEDICINA		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	2000		
TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	CARACTERÍSTICAS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE TÓRAX EN CASOS DE COVID-19 EN UNA POBLACIÓN HOSPITALIZADA DE GRAN ALTITUD		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	TESIS: DESARROLLO TEMÁTICO DE ARTÍCULO		
Declaración del Autor			
El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	981600344		
E-mail	waltercalderon2002@yahoo.com		


 Dr. Walter Calderón Gerstein
 C.M.P. 28967 - R.N.E. 18660
 MEDICO INTERNISTA

Firma del Egresado
 DNI 07619700

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	CALDERÓN GERSTEIN WALTER STIVE

(Agregar filas adicionales si hay más autores)

Pertencientes al programa de la **MAESTRÍA EN MEDICINA**, autores del trabajo titulado: **CARACTERÍSTICAS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE TÓRAX EN CASOS DE COVID-19 EN UNA POBLACIÓN HOSPITALIZADA DE GRAN ALTITUD**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN MEDICINA** bajo la modalidad de **TESIS**.

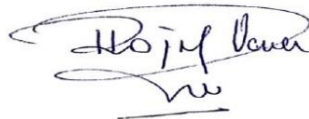
En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	ROJAS VERA JORGE ENRIQUE	FAMED	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **11%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2887263095**; fecha de entrega: **24-02-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 24 de febrero de 2026**



Firma del asesor
N° DNI: 26630100
ORCID: 0009-0006-6056-263X

Firma del Co-asesor
N° DNI:
ORCID:
.....

ÍNDICE

RESUMEN
ABSTRACT

I. ARTÍCULO PUBLICADO.....	1
II. DISCUSIÓN.....	17
III. CONCLUSIONES	38
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

RESUMEN

Fueron evaluados 464 pacientes hospitalizados por COVID-19 en el Hospital Regional Daniel Alcides Carrión, de Huancayo, localizado a 3,250 metros sobre el nivel del mar, en el departamento de Junín, durante el año 2021. Los hallazgos tomográficos mostraron un compromiso predominantemente bilateral, con afectación tanto central como periférica en el 85.6%, con un 85.8% de pacientes con un puntaje CORADS 5, y un alto grado de severidad, dominando los infiltrados de tipo vidrio esmerilado en un 93.8% y las consolidaciones alveolares en un 86%. En el 44.6% los pacientes se hallaban en la fase pico de la enfermedad. Se observó dilataciones vasculares en un 35.3%, engrosamiento de septos en el 46%, patrón reticular en el 39%, “empedrado desorganizado” en el 37%, adenopatías torácicas en un 45.2%, atelectasias en un 12% y solo un 2.8% de casos con derrame pleural. El lóbulo inferior derecho fue el más comprometido en extensión, con un promedio de 45.5% del parénquima afectado, mientras que el lóbulo inferior izquierdo fue afectado con más frecuencia, en el 44.4% de los casos. En el 27% de los casos se afectaron los lóbulos superiores. El diámetro promedio de la arteria pulmonar fue de 27.6 mm, llegando en un caso hasta 38 mm. Estos hallazgos tomográficos no fueron diferentes de los reportados por debajo de los 1,000 msnm, pero indicaban casos particularmente severos de COVID-19.

PALABRAS CLAVE

COVID-19; ALTURA; TOMOGRAFÍA DE TÓRAX, PATRONES TOMOGRÁFICOS

ABSTRACT

A total of 464 patients hospitalized with COVID-19 were evaluated at the Daniel Alcides Carrión Regional Hospital in Huancayo, located at 3,250 meters above sea level in the department of Junín, during 2021. Chest CT findings showed predominantly bilateral involvement, with both central and peripheral involvement in 85.6%, with 85.8% of patients having a CORADS score of 5, and a high degree of severity, with ground-glass infiltrates predominating in 93.8% and alveolar consolidations in 86%. The majority of patients (44.6%) were in the peak phase of the disease. Vascular dilatations were observed in 35.3% of cases, septal thickening in 46%, a reticular pattern in 39%, a cobblestone pattern in 37%, thoracic lymphadenopathy in 45.2%, atelectasis in 12%, and only 2.8% of cases had pleural effusion. The right lower lobe was the most extensively involved, with an average of 45.5% of the parenchyma affected, while the left lower lobe was affected more frequently, in 44.4% of cases. The upper lobes were affected in 27% of cases. The average pulmonary artery diameter was 27.6 mm, reaching up to 38 mm in one case. These Chest CT findings were not different from those reported below 1,000 meters above sea level, but indicated particularly severe cases of COVID-19.

KEYWORDS

COVID-19; HIGH ALTITUDE; CHEST CT SCAN, TOMOGRAPHIC PATTERNS

I. ARTÍCULO PUBLICADO

Open Access

OBM Genetics



Original Research

Chest CT Scan Features of COVID-19 in a Hospitalized High-Altitude Population

Walter Calderón Gerstein ^{1, †, *}, Gabriela Torres Samaniego ², Kevin Pazos Sovero ³

1. School of Medicine, Universidad Continental, Huancayo, Peru; E-Mail: wcalderon@continental.edu.pe
2. Puesto de Salud San Pedro de Cajas, EsSalud, Tarma, Peru; E-Mail: gabrielaktorress@gmail.com
3. Centro de Salud Juan Parra del Riego, Huancayo, Peru; E-Mail: pazossoverokevinantony@gmail.com

† Current Affiliation: Internal Medicine Service, Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé, EsSalud, Huancayo, Peru

* **Correspondence:** Walter Calderón Gerstein; E-Mail: wcalderon@continental.edu.pe

Academic Editor: Thomas Liehr

Special Issue: [Oxygen Transport Physiology and COVID at High Altitude](#)

OBM Genetics
2024, volume 8, issue 2
doi:10.21926/obm.genet.2402226

Received: November 30, 2022
Accepted: March 14, 2024
Published: April 12, 2024

Abstract

There is a lack of knowledge regarding the type of lung compromise in high-altitude residents with COVID-19. This study aims to evaluate the lung compromise in chest CT scans of high-altitude dwellers hospitalized with COVID-19. Retrospective study that took place in "Daniel Alcides Carrión" Regional Hospital, located 3,250 meters above sea level in the city of Huancayo, Perú. 464 medical charts and chest CT images of hospitalized patients with confirmed COVID-19 from January to March 2021 were reviewed. The mean age was 56 years, 63.1% of the patients were male, and 85.8% of individuals had a CORADS 5. Ground glass infiltrates were found in 93.8% of the patients; alveolar consolidations were present in 86% and were usually bilateral. Thickened septa were described in 46%, lattice pattern in 38.8%, reticular components in 39%, and the crazy paving pattern in 36.9%. Most patients (84.5%)



© 2024 by the author. This is an open access article distributed under the conditions of the [Creative Commons by Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium or format, provided the original work is correctly cited.

had central and peripheral lesions; only 4% had limited peripheral compromise, and 10% solely central distribution. The left posterior basal segment was the most affected pulmonary segment in 27% of the cases, and the right basal posterior in 26%. Less affected segments were the right and left apical (14% and 13%, respectively). Lung compromise in patients with COVID-19 in this high-altitude population was severe, with mostly bilateral compromise, increased diameter of the pulmonary artery, periaortic and subaortic lymph nodes enlargement, and extensive ground glass and alveolar lesions.

Keywords

COVID-19; high altitude; chest CT scan; ground glass infiltrates

1. Introduction

In December 2019, new cases of pneumonia of unknown origin were reported in Wuhan (China). On January 7, 2020, the causative agent of this new disease, called new coronavirus 2019 (2019-nCoV), was identified. On February 11 of the same year, the World Health Organization (WHO) named it coronavirus disease 2019 (COVID-19) caused by a new type of coronavirus, SARS-CoV-2 [1].

COVID-19 infection clinical presentation can be mild, moderate, or severe; in some cases, it can cause severe pneumonia, acute respiratory distress syndrome, sepsis, and in severe forms, septic shock can be evidenced [2, 3].

The respiratory system is the first to be affected by the SARS-CoV-2 virus, and, in suspected cases, false negative results have been reported with serological antibody tests and even with RT-PCR in the initial stages of the disease [4-6]. Therefore, lung CT scans play a crucial role in these cases of COVID-19 since there is much evidence of the usefulness of tomography as a diagnostic test in the absence of RT-PCR [7, 8]. In addition, the sensitivity of chest tomography is much higher compared to RT-PCR in the diagnosis of COVID-19 [9].

Tomographic findings have become fundamental in diagnosing COVID-19, particularly in its initial phases or before the appearance of symptoms. Determining the different types of lung infiltrates and patterns has proved very useful for evaluating the course of the disease [10, 11]. The most common tomographic lesions are bilateral ground glass opacities, reticulonodular patterns, and crazy-paving infiltrates [5, 12, 13]. However, chest tomography findings in COVID-19 in high altitude populations have not been reported previously. Moreover, the effect of high altitude on COVID-19 survival continues under discussion [14, 15]. This study aims to determine the tomographic findings in patients hospitalized with COVID-19 in a high-altitude hospital.

2. Materials and Methods

This study is descriptive, observational, and retrospective. A total of 464 clinical charts, along with their corresponding chest computed tomography findings, were evaluated. All patients had COVID-19 confirmation with RT-PCR or antigen test, or both. The individuals were admitted to the Internal Medicine wards or the Intensive Care Unit of the "Daniel Alcides Carrión" Regional Clinical-Surgical Teaching Hospital from January to March 2021. Carrión Hospital is located in Huancayo, a

Peruvian city at 3,250 meters above sea level (masl). All patients had COVID-19 confirmation with RT-PCR or antigen test, or both.

2.1 Chest CT Scan

Chest CT scans, spiral, ungated, and non-enhanced, were acquired with low-dose, on one CT scanner, a 128-slice system (Hitachi Scenaria View 2020). Scan parameters for Hitachi Scenaria included tube voltage of 140 kV, 0.35-second rotation speed, and slice thickness of 1 mm. CT scans were acquired from two slices above the lung apex to three slices down costophrenic angles during a single inspiratory breath-hold.

The Fleischner Society glossary for thoracic imaging was utilized to identify chest CT lesion patterns. COVID-19 pneumonia was diagnosed based on ground-glass opacities, consolidations, and crazy-paving patterns, which were integrated into the CORADS score.

The research instrument was the data collection form, which was filled out by the researchers using the clinical chart data and the chest CT scan results of patients with COVID-19. All chest CT scans were evaluated and informed by trained radiologists.

This study complies with the principles of the Declaration of Helsinki for medical research involving human subjects. The confidentiality and anonymity of the patients were secured. The Ethics Committee of Carrión's hospital approved the study on December 2, 2021, with registration number 5774479, according to the Peruvian legislation regarding observational studies in humans.

2.2 Statistical Analysis

The results are presented in tables and graphics, with calculations made for the mean, median, mode, and standard deviation.

3. Results

A total of 63.1% (n = 293) of the patients were male, while 36.9% (n = 171) were female. Of the patients evaluated, 40.7% were older adults (n = 189). Diagnosis was made in 73.7% of the patients through antigen testing and 26.3% through molecular testing (RT-PCR). The average age was 56.14 years, with a minimum of 21 and a maximum of 94 years.

3.1 Comorbidities

The most frequent comorbidity was obesity, found in 40.3% (n = 187), followed by diabetes mellitus 2 in 20.9% (n = 97), and hypertension, diagnosed in 17% (n = 79). Cardiovascular and chronic lung disease rates were low, with only four patients with each of these characteristics (0.9%). There were only 6 patients with immunosuppressive treatment (1.3%), 8 asthmatics (1.7%), and one patient with HIV infection (Table 1).

Table 1 Comorbidities in COVID-19 patients.

Pathological history	No.	Percentage
Obesity	187	40.3
Diabetes mellitus type 2	97	20.9

Hypertension	79	17.0
Chronic renal insufficiency	12	2.6
Asthma	8	1.7
Immunosuppressant treatment	6	1.3
cardiovascular disease	4	0.9
Chronic lung disease	4	0.9
HIV infection	1	0.2

Place of origin: 80% of the patients (n = 371) came from the city of Huancayo, and 10% (n = 46) from the neighboring areas of the Mantaro Valley (Concepción 3,283 masl, Chupaca 3,263 masl, and Jauja 3,335 masl).

The average Body Mass Index (BMI) was 28.94 kg/m²; the average oxygen saturation was 78.54%, with a minimum of 35 and a maximum of 94%. The average respiratory rate was 23.55 resp/min, the average heart rate was 94.14 beats/min, and the average temperature was 37.11°C.

3.2 Clinical Presentation

The main symptom was dyspnea, found in 89.2% (n = 414), followed by cough (73.1%) and fever (63.1%). The average hospital stay was 9.30 days, with a minimum of 2 and a maximum of 48 days.

3.3 Laboratory Tests

On average, the CRP (C reactive protein) values were 136.3 mg/dL, with a maximum value of 546.8 mg/dL. The D-dimer mean value was 2448.10 ng/mL, reaching 100,000 in one case and 231 ng/mL in another patient. Lactate dehydrogenase (LDH) averaged 538.97 U, while creatinine averaged 1.04 mg/dL and albumin 3.44 mg/dL. Platelets' mean value was 26,880/mm³, white blood cell count was 11,155/mm³, lymphocytes 967/mm³, and neutrophils 9,609/mm³.

3.4 Complications

The main complications observed are shown in Figure 1.

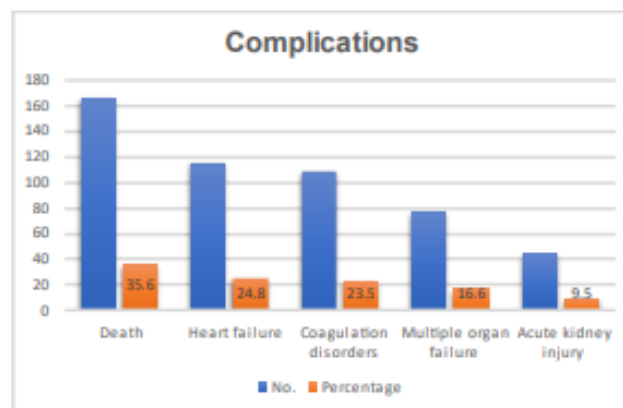


Figure 1 Complications in hospitalized patients with COVID-19.

3.5 Lung Injury Patterns

The most frequently found lesion was the ground glass pattern, present in 93.8% (n = 435) of the patients, followed by alveolar consolidations in 86.2% (n = 400).

Figure 2 shows a bilateral ground glass pattern in a male patient as the most common chest CT abnormality in the evaluated population. Figure 3 shows bilateral consolidations in a patient; this was the second most common abnormal pattern found.



Figure 2 Bilateral ground-glass pattern in a 53-year-old man.



Figure 3 Bilateral consolidations in a male patient.

The presence of thickened septa was observed in 46.1%, the reticular pattern in 38.8%, and the crazy cobblestone pattern in 36.9%. 35.3% of patients presented vascular dilatations. Paratracheal nodes were observed in 27.4% of the cases, subaortic nodes in 17.9%, and calcified nodules in 12.5%. Atelectasis was observed in 12.3% (N = 57), and 13 patients (2.8%) presented pleural effusion (Table 2).

Table 2 Patterns of lung injury found in the study population.

Patterns of lung injury	No.	Percentage
Ground glass pattern	435	93.8
Alveolar consolidations	400	86.2
Thickened septa	214	46.1
Lattice pattern	180	38.8
Crazy paving pattern	171	36.9
Presence of vascular dilation	164	35.3
Paratracheal nodes	127	27.4
Subaortic nodes	83	17.9
Calcified nodules	58	12.5
Atelectasis	57	12.3
Pleural effusion	13	2.8
Microcysts	9	1.9

3.6 Location of Pulmonary Lesions

Bilateral consolidation was the predominant one in 71.6% (n = 332). The most frequent ground glass pattern was subpleural (53.2%), finding bilateral lesions in 54.5%. 23.3% of patients showed the presence of multiple lesions in different lobes. About the most affected segments, the most frequent location was the left posterior basal segment (27.6%), followed by the right basal posterior segment (26.5%), as well as the right apical segment (13.8%) and the left apical segment (12.7%) (Table 3).

Table 3 Predominant Location of Lung Lesions.

Lung injury pattern	No.	Percentage
Bilateral consolidation	332/463	71.6
Subpleural ground glass	247	53.2
Two-sided ground glass	253	54.5
Left posterior basal segment	128	27.6
Right posterior basal segment	123	26.5
Multilobar Compromise	108/463	23.3
Right apical segment	64	13.8
Left apical segment	59	12.7

Mode of distribution of the lesions: 84.5% had both central and peripheral distributions. In only 48 patients (10.3%), the distribution was exclusively central; in only 19 patients (4.1%), the distribution was exclusively peripheral.

CORADS Classification: 85.8% of patients (n = 398) had a CORADS score of 5, followed by 6.9% of cases with CORADS 4 and 2.8% of cases with CORADS 3. Only 1.5% of cases had CORADS 6 or CORADS 1, and only two patients showed CORADS 2 type lesions.

Mean Pulmonary Artery Diameter: The average PA diameter evaluated according to chest tomography was 27.6 mm, with a minimum value of 18 mm and a maximum of 38 mm.

Phases of progression of lung lesions: In most cases, the peak phase (44.6%) was predominant during the tomography evaluation (Table 4).

Table 4 Phases of lung disease progression.

Phase	No.	Percentage
Peak phase	207	44.6
Progressive phase	130	28.0
Peak and absorptive phase	38	8.2
Peak and progressive phase	26	5.6
Absorptive phase	24	5.1
Total	425	100.0

3.7 Distribution of Lung Lesions

The lung lobes with a higher percentage of involvement by COVID-19 lesions were the right lower lobe (45.5%) and the left lower lobe (44.4%). The percentage of compromise of the right upper lobe and the middle lobe was around 34%, and of the left upper lobe, 33.4% (Table 5).

Table 5 Ratio of Lung Compromise in different lobes.

	Minimum Lung Compromise (%)	Maximum Lung Compromise (%)	Average Lung Compromise (%)
Right upper lobe	0	100	34.11
Medium lobe	0	100	34.14
Right lower lobe	10	100	45.51
Left upper lobe	0	90	33.40
Left lower lobe	10	95	44.40
5-Lobes Lung Compromise	5	99	52.03

85.6% (n = 397) of the lesions had both central and peripheral distributions. In only 48 of the patients (10.3%), the distribution was exclusively central, and in only 19 patients (4.1%), the distribution was exclusively peripheral (Figure 4).

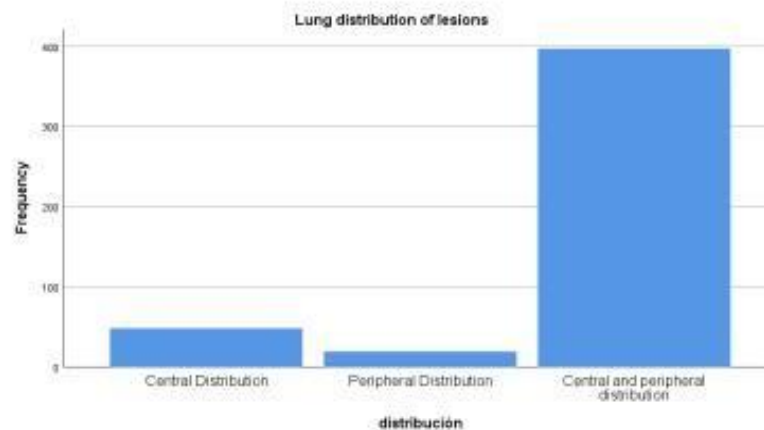


Figure 4 Mode of distribution of lung lesions.

4. Discussion

464 medical records of patients hospitalized in the medical, emergency, and intensive care unit of "Daniel Alcides Carrión" Regional Clinical-Surgical Teaching Hospital in Huancayo were evaluated. All the medical records corresponded to patients who had chest tomography evaluation upon admission to the hospital due to suspicion of having COVID-19.

The first studies evaluating the characteristics of chest CT scans in patients with COVID-19 were conducted in China. These works were generally carried out with younger populations and with less severity than that presented in this investigation. Song's study [12] was carried out with 51 patients evaluated in Shanghai hospitals, with an average age of 49 years (younger average population than that of this study) and with an almost equal proportion of men (49%) and women (51%). Xu's report [13] analyzed patients' medical records in Guangdong from January to February 2020. A total of 90 patients with an average age of 50 years were included.

The Soriano study in Spain [16] included 182 patients, whose mean age was 60 years, and males in 58.2% of the cases. This population is more similar to that of the present study since it has a slightly lower proportion of males than the one evaluated in Huancayo, a very similar average age, and a similar severity to that of the current study.

Another tomographic study on COVID-19 with a mean age and gender ratio similar to that of Huancayo patients was that of Ashtari [17], in which the author and his collaborators evaluated 363 cases in three hospitals in Iran. The average age was 61.6 years, with a male proportion of 63.8%. This study evaluated the tomographic findings in patients with mild symptoms, critical conditions, and deceased patients, as will be discussed later. The study conducted in three hospitals in China by Chung et al. [11] had a younger population with a mean age of 51 years, similar to Song's [12]. The patients were evaluated in the first days of the COVID-19 pandemic, from January 18 to 27, 2020.

The study by Escobar et al. [18] carried out as a case report of the first 14 patients who died from COVID-19 at Perú, at Rebagliati Hospital, had a population composition similar to ours, although with greater age and severity, consisting of a 78.6% by men and with an average age of 73.4 years.

Pan's study only included 63 patients, with an average age of 44.9 years [8]. The study mentioned above was carried out with CT scans evaluated during January 2020 in various locations in China.

Concerning the previous medical history, our population had a high prevalence of comorbidities. 40.3% were obese, 20.9% had type 2 diabetes mellitus, 17% hypertension, and 6% chronic kidney disease. The rate of chronic pulmonary and cardiovascular diseases was less than 3%. This rate of comorbidities is quite high when compared to the first cases of patients with COVID-19 evaluated with chest CT scans in China [12], which reported only 10% hypertensive and 6% diabetic patients. Xu series had only 6% of diabetics, with 19% hypertensive individuals and 3% patients with cardiovascular disease. In the Iranian study by Ashtari [17], comorbidities were even lower, observed in only 5.8% of the patients.

Patients from Huancayo presented with greater severity than those from China. 89.2% of the patients hospitalized for COVID-19 had dyspnea, and 63.1% came from fever. Dyspnea was observed in only 14% of cases, cough in 47% of Song's series [12], while 96% of the patients attended the clinic for fever. A similar situation was observed in another Chinese population [13], where 78% had fever, 63% cough, and no patients with dyspnea were reported. Similarly, in 95 patients from Guangdong [19], evaluated between January and February 2020, fever and fatigue were present in 72.6%, not specifically mentioning whether or not there was dyspnea. Other early CT studies on COVID-19 conducted by Chung et al. [20] showed fever in 67% of the cases without reporting the presence of dyspnea. As occurred with the greater presence of comorbidities, the older age of the patients, and the greater prevalence of males, in the Peruvian series by Escobar [18], fever and dyspnea were observed in 78.6%. In the physical examination, polypnea was found in 85.7%. This percentage is very similar to that found in the population of Huancayo, so the small series of Rebagliati cases would have a composition similar to that of the patients evaluated at Hospital Carrión. Considering that the series mentioned above of patients [18] exclusively comprises individuals who succumbed to COVID-19, it can be concluded that the disease severely impacted the population evaluated in Huancayo.

In the Carrión Hospital population, the average percentage of lung involvement was 52.03%, with maximum involvement of 99% and a minimum of 5%. The most frequently found tomographic pattern was ground glass lesions, which were present in 93.8% of the cases. 86.2% of the patients showed alveolar consolidations, 46.1% had septal thickening, 38.85% had a reticular pattern, 36.9% showed crazy cobblestone, and 35.3% had vascular dilation. Less common lesions, such as the presence of paratracheal nodes, were observed in 27.4%, subaortic in 17.9%, calcified nodules in 12.5%, atelectasis in 12.3%, pleural effusion in 2.8% and microcytes in 1.9%.

In a Chinese study [12], 77% of patients had ground glass lesions, with 75% combined with a reticular pattern and 59% with consolidation. The consolidation pattern was much less frequent than in our study, in which it was found in only 55%. In 8% of their patients, there was pleural effusion; in 6%, pericardial effusion; and a further 27%, adenopathies. Air bronchograms were found in up to 80% of the patients evaluated.

Like the study mentioned above [12], Xu [13] found ground glass lesions in 72% of cases but only 12% consolidation and 12% crazy paving. The presence of thickened septa was lower than that of Hospital Carrión, reaching only 37%, but with a pleural thickening of 56% and linear opacities of up to 61%. These linear opacities corresponded to a reticular pattern found in only 38.8% of our patients. Even more, Xu reported 23% of normal chest CT scans.

In Spain [16], ground glass-type compromise was seen in up to 60.4% of patients. The presence of lymphadenopathy was reported in 24.9%, similar to our patients, finding vascular dilation in an

even higher proportion (48.4%). Pleural effusion was observed in 7.7% of the cases and pleural thickening in 30.2% of the patients.

The Iranian study by Ashtari [21] differentiated the tomographic patterns found according to whether they were deceased or surviving patients, finding that those patients who died from COVID-19 had the combination of ground glass with consolidation in 84.6% of the cases. This lesion pattern was only observed in 38.11% of non-critical patients. Similarly, they found that up to 21.2% of deceased patients had pleural effusion. Adenopathies would also be an indicator of severity since 7.7% of the patients presented them, as opposed to 3.6% of those with mild COVID-19. This difference was statistically significant.

Sharif et al. published a meta-analysis in 2022 [22]. The researchers reviewed 86 reports of chest CT scan evaluations in COVID-19, totaling 7956 patients. The meta-analysis confirmed, as found in our population, that ground glass lesions were more frequent, reaching 73%. Unlike the Chinese studies, vascular dilatation was reported to be up to 61%, a very high rate, even for our cases, in which it was only 35%. There was a lower percentage of consolidation (34%), while pleural thickening and crazy paving were found in 24% and 27%, respectively. However, bronchiectasis had a high prevalence of 24%. As in all published case series and studies, pleural effusion and lymphadenopathy were rare. No study published to date has found such a high prevalence of adenopathies as in this population of Hospital El Carrión, in which 27.4% had the presence of enlarged paratracheal nodes and 17.9% of subaortic nodes. These adenopathies could reveal an increase in the immune response, but no studies to date associate them with greater mortality and severity.

The low prevalence of specific lesions could also be observed in the study by Zheng et al. [23], who found enlarged lymph nodes in only 3 to 13% of the patients and rarely identified vascular dilatations.

Bilateral consolidation was seen in 71.6% of our cases. Ground glass lesions were either subpleural (53.2%) or bilateral (54.2%). The involvement of the five lobes was observed only in 23.3%. The most frequent compromised lung segments were the left posterior basal (27.6%) and the right posterior basal (26.5%). The apical segments were the least compromised: the right apical with 13.8% and the left apical in 12.7% of the patients.

Song [12] reported that lesions were bilateral in 97% and all five lobes were involved in 79%; however, patients were generally not in critical condition. About the most compromised lobes, the lower lobe was compromised in 53% of the cases, followed by the upper lobes in 37% and the middle lobe in only 10% of the cases. For Salehi [5], most lesions were ground glass (88%) and were bilateral in 87.5%, compromising the five lobes in 78.8%.

The distribution of the lesions in our study was central and peripheral in 85.6% of the cases; it was exclusively central in 10.3% and only peripheral in 4.1%. This distribution pattern is important because, according to Chinese studies in patients with mild COVID-19, the peripheral distribution appears first and is seen in these non-serious cases. Xu [13] observed peripheral distribution in 51%, being bilateral in 59% of cases. In the study by Soriano in Spain, the peripheral distribution was observed at 66.7%, but it was peripheral and central only at 27.5%. In Ashtari's research [17], opacities were diffuse in 71.2% of the deceased patients, but in those who survived, and in mild cases, lesions were diffuse in only 15.5%.

Sharif's meta-analysis [22] found that the left lower lobe was involved in 67% of cases and the right in 66%, while the right middle lobe was the least commonly involved.

Most cases in our population were in the peak phase (48.7%), followed by the progressive phase in 30.59%. In some cases, a combination of phases was found, with 8.94% in the peak and absorptive phase, 6.12% in the peak and progressive phase, and 5.65% in the absorptive phase. According to Zheng et al. [23], COVID-19 patients undergo two stages: the progressive stage, which lasts from the first 3 to 14 days of the disease, and the absorptive phase, which occurs during weeks 2 to 3. The maximum pulmonary deterioration is usually observed on day 10 of hospitalization. Feng Pan [24] agrees that the maximum lung compromise occurs on the tenth day, according to a case series of 21 patients, and he suggests that the peak phase may occur between days 10 and 13 of the disease and, from day 14, the absorptive phase.

None of the patients at Carrión Hospital were in the early phase, which usually includes asymptomatic patients or those who present upper respiratory tract symptoms and have not yet developed dyspnea.

According to Kenny et al. [25], in 70% of cases, the CT scan shows lung injury before the positive molecular test. Similarly, Waller et al. [26] have reported that chest CT scans have a sensitivity of 97% for diagnosing and identifying lung lesions in COVID-19. This information is crucial since it is known that the sensitivity of the molecular test is around 70%, and the antigenic test does not reach 100% sensitivity either. Zheng et al. [23] remind us that in 60 to 93% of patients, there are abnormalities in the chest tomography before the positive molecular test. In this subject, he agrees with what was expressed by Kenny et al. [25].

The CORADS score allows for greater diagnostic certainty of the pulmonary disease and helps define who is more likely to have COVID-19 and who is not. In this population, the vast majority of patients had CORADS 5 (85.8%), indicating that the cases were quite defined and had significant lung involvement.

The most compromised lobe was the right lower lobe in 45.5%, followed by the left lower lobe in 44.4%. Unlike other studies, the involvement of the middle lobe was around 34%, as well as the upper and lower right lobes. The involvement mostly of the right lower lobe coincides with the findings reported by Salehi et al. [5], who found 76% involvement of the right lower lobe and 57% of the right middle lobe. On the other hand, Xu et al. [13] similarly found that the compromise of the right lower lobe was found in 66%, followed by the right lower lobe in 61%, results very similar to our population findings, but with the difference that the least compromised lobe was the right middle in 44% of the cases. Table 6 summarizes different studies regarding chest CT characteristics in COVID-19 patients for comparative purposes with our results.

Table 6 Table of Comparison. Chest CT Scan features of COVID-19 in different Studies.

Chest CT Scan Studies in COVID-19 Patients								
	Units							
Author		Song	Soriano	Ashtari	Escobar	Chung	Current study	Xu
Country		China	Spain	Iran	Perú	China	Perú	China
City		Shanghai	Navarra	Tehran	Lima	Zhuhai	Huancayo	Guangzhou
Reference		[12]	[16]	[17]	[18]	[20]		[13]
Number of patients		51	182	363	14	21	464	90
Mean Age	years	49	60	61.6	73.4	51	56.1	50
Male proportion	%	49	58.2	63.8	78.6	62	63.1	43.3
Presence of dyspnea	%	31			85.7	14	89.2	21
Peripheral distribution	%	86	66.7			33	4.1	51
Mixed distribution	%	2	27.5				85.6	69
Bilateral compromise	%	86	84.1	93.4	100	76	71.6	59
Ground Glass opacities	%	77	60.4	91.7	66.6	86	93.8	72
Consolidations	%	59	37.9	60.6	33.3	29	86.2	12
Crazy paving	%		54.9			19	36.9	12
Adenopathies	%	27	24.9	8		0	45.2	1
Thickened septa	%	75	37.9				46.1	37
Pleural effusion	%	8	7.7	11.3		0	2.8	4
Left lower lobe affected	%	80	27.6			67	44.4	61

Most of our cases showed exceedingly severe lung disease, as revealed by bilateral compromise, involvement of more than three lobes, the simultaneous appearance of ground glass lesions and consolidation, and the high incidence of vascular dilation and adenopathies. Most of our patients were in the peak and progressive phase; almost all had a CORADS 5 classification, and their biochemical markers revealed severe disease. The average CRP was 136 mg/dL, the mean D-dimer was 2448 ng/dL, the average lactic dehydrogenase was 538 U/l, and oxygen saturation was 78.54%. These results undoubtedly indicate that the disease caused by COVID-19 can be very severe in high-altitude residents, which is currently controversial since there are studies that propose that the cases in high altitude might not be so severe [14, 15].

The severity of the cases is only comparable to the first deceased cases in the Rebagliati Hospital [19] as well as to the subgroup of those deceased in the Iranian population [17]. Based on these findings, developing a chest CT scan severity score is crucial, as pointed out by Holguín et al. [27], who tested five severity scales after evaluating 35 cases of COVID-19 with a chest CT scan. Due to the small size of the population, they did not reach definitive conclusions except those already known, such as bilateral involvement, simultaneous stages, and pleural effusion, which indicate greater severity. Pulmonary artery diameter was 27.56 mm on average, with a minimum value of 18 and a maximum of 38 mm. The relationship of pulmonary arterial pressure with severity or comorbidities still needs to be evaluated.

Chest CT scan is a valuable tool for COVID-19 identification. According to Liu et al. [28], this ancillary test has 88% to 97% sensitivity for COVID-19 pneumonia diagnosis, superior to the RT-PCR test. Unfortunately, the identification of COVID-19 lesions by CT scan is observer-dependent. According to Bai et al. [29], radiologists have different levels of performance that can go from 67% to 97% sensitivity and from 7% to 100% specificity. This disparity in diagnostic precision can be improved with the use of Artificial Intelligence (AI), as revealed by the studies of Nasir [30] and Mohan et al [31]. In specific settings and using pre-trained transfer learning-based models, AI can reach 99.6% precision [24] for COVID-19 identification. AI has been tested in different areas of the medical profession. The distinction between normal and malignant breast cancer cells using electric circuit networks [32] or the detection of diabetic retinopathy by the employment of Convolutional Neural Networks [33, 34] Biosensors have also proven to be helpful for COVID-19 diagnosis [35], as similar devices have been found useful to identify hematuria [36] or kidney stones [37]. Integrating AI in identifying specific chest CT scan patterns can significantly improve the diagnostic precision of COVID-19 pneumonia.

5. Conclusions

Most cases were classified as CORADS 5 and had great severity according to pulmonary lesions and altered biochemical tests. The prevalence of comorbidities was high, and total lung involvement was 52.03% on average. The most frequently found pattern was ground glass with 93.8%, followed by the alveolar consolidation pattern with 86.2%. In 85.6% of patients, the lesions' distribution was central and peripheral. The lesions found were more severe than in the Chinese studies, comparable with the Spanish and Iranian series. As in most tomographic studies, the most common patterns were bilateral ground glass infiltrates, regularly located in the lower lobes. The presence of paraaortic and subaortic nodes was more frequent than in the rest of the published studies, probably indicating the severity of the condition.

Acknowledgments

The authors wish to thank the authorities of the Regional Surgical Medical "Daniel A. Carrión" Hospital, who gave us the facilities to carry out the study.

Author Contributions

The idea of the manuscript was planned by APS and WCG. The basic literature was brought together and the first draft was prepared by APS and GTS. APS and GTS collected and compiled the information. APS edited the final draft and WCG and GTS approved the final version of the manuscript. All the authors have read and approved the submission of the manuscript.

Competing Interests

The authors have no conflict of interest.

References

1. Phelan AL, Katz R, Gostin LO. The novel coronavirus originating in Wuhan, China: Challenges for global health governance. *JAMA*. 2020; 323: 709-710.
2. Trilla A. One world, one health: The novel coronavirus COVID-19 epidemic. *Med Clin (Engl Ed)*. 2020; 154: 175-177.
3. Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*. 2020; 323: 1061-1069.
4. Chu DK, Pan Y, Cheng SM, Hui KP, Krishnan P, Liu Y, et al. Molecular diagnosis of a novel coronavirus (2019-nCoV) causing an outbreak of pneumonia. *Clin Chem*. 2020; 66: 549-555.
5. Salehi S, Abedi A, Balakrishnan S, Gholamrezanezhad A. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A systematic review of imaging findings in 919 patients. *AJR Am J Roentgenol*. 2020; 215: 1-7.
6. Corman VM, Landt O, Kaiser M, Molenkamp R, Meijer A, Chu DK, et al. Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. *Eurosurveillance*. 2020; 25: 2000045.
7. Kim JY, Choe PG, Oh Y, Oh KJ, Kim J, Park SJ, et al. The first case of 2019 novel coronavirus pneumonia imported into Korea from Wuhan, China: Implication for infection prevention and control measures. *J Korean Med Sci*. 2020; 35: e61.
8. Pan Y, Guan H, Zhou S, Wang Y, Li Q, Zhu T, et al. Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): A study of 63 patients in Wuhan, China. *Eur Radiol*. 2020; 30: 3306-3309.
9. Ai T, Yang Z, Hou H, Zhan C, Chen C, Lv W, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases. *Radiology*. 2020; 296: E32-E40.
10. Zu ZY, Jiang MD, Xu PP, Chen W, Ni QQ, Lu GM, et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A perspective from China. *Radiology*. 2020; 296: E15-E25.
11. Chung M, Bernheim A, Mei X, Zhang N, Huang M, Zeng X, et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV). *Radiology*. 2020; 295: 202-207.
12. Song F, Shi N, Shan F, Zhang Z, Shen J, Lu H, et al. Emerging 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pneumonia. *Radiology*. 2020; 295: 210-217.

13. Xu X, Yu C, Qu J, Zhang L, Jiang S, Huang D, et al. Imaging and clinical features of patients with 2019 novel coronavirus SARS-CoV-2. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020; 47: 1275-1280.
14. Perez Castilla J. High Altitude and COVID-19: A relationship difficult to assess. *Arch Bronconeumol*. 2021; 57: 68-70.
15. Zubieta Calleja G, Merino Luna A, Zubieta DeUrioste N, Armijo Subieta NF, Soliz J, Arias Reyes C, et al. Re: "Mortality Attributed to COVID-19 in high-altitude populations" by Woolcott and Bergman. *High Alt Med Biol*. 2021; 22: 102-104.
16. Aguadero IS, Casajús AE, Ferradas FM, Rouilleault AI, Nuin AP, Villoslada JP, et al. Chest computed tomography findings in different phases of SARS-CoV-2 infection. *Radiologia (Engl Ed)*. 2021; 63: 218-227.
17. Ashtari S, Vahedian Azimi A, Shojaee S, Pourhoseingholi MA, Jafari R, Bashar FR, et al. Computed tomographic features of coronavirus disease-2019 (COVID-19) pneumonia in three groups of Iranian patients: A single center study. *Radiologia (Engl Ed)*. 2021; 63: 314-323.
18. Escobar G, Matta J, Taype W, Ayala R, Amado J. Clinico-epidemiological characteristics of patients deceased by COVID-19 in a National hospital in Lima, Peru. *Rev Fac Med Hum*. 2020; 20: 180-185.
19. Cui N, Zou X, Xu L. Preliminary CT findings of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clin Imaging*. 2020; 65: 124-132.
20. Wu J, Wu X, Zeng W, Guo D, Fang Z, Chen L, et al. Chest CT findings in patients with coronavirus disease 2019 and its relationship with clinical features. *Invest Radiol*. 2020; 55: 257.
21. Xu YH, Dong JH, An WM, Lv XY, Yin XP, Zhang JZ, et al. Clinical and computed tomographic imaging features of novel coronavirus pneumonia caused by SARS-CoV-2. *J Infect*. 2020; 80: 394-400.
22. Sharif PM, Nematizadeh M, Saghadzadeh M, Saghadzadeh A, Rezaei N. Computed tomography scan in COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Pol J Radiol*. 2022; 87: e1-e23.
23. Zheng Q, Lu Y, Lure F, Jaeger S, Lu P. Clinical and radiological features of novel coronavirus pneumonia. *J X-Ray Sci Technol*. 2020; 28: 391-404.
24. Ahuja S, Panigrahi BK, Dey N, Rajnikanth V, Gandhi TK. Deep transfer learning-based automated detection of COVID-19 from lung CT scan slices. *Appl Intell*. 2021; 51: 571-585.
25. Kenny JE, Canepa CM. An illustrated guide to the chest CT in COVID [Internet]. *PulmCCM*; 2020. Available from: <https://pulmccm.org/uncategorized/an-illustrated-guide-to-the-chest-ct-in-COVID-19/PulmCCM>.
26. Waller JV, Kaur P, Tucker A, Lin KK, Diaz MJ, Henry TS, et al. Diagnostic tools for coronavirus disease (COVID-19): Comparing CT and RT-PCR viral nucleic acid testing. *Am J Roentgenol*. 2020; 215: 834-838.
27. Holguín Andrade KI, Murrieta Peralta E, Chischistz Condey AP, Solís Cano DG, Ríos Muñoz R, Calva Arcos M, et al. Inter-observer variability with five computed tomography severity scales for COVID-19 pneumonia assessment. *Gac Med Mex*. 2021; 157: 391-396.
28. Liu M, Lyu J, Zheng X, Liang Z, Lei B, Chen H, et al. Evolution of the newest diagnostic methods for COVID-19: A Chinese perspective. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2023; 24: 463-484.
29. Bai HX, Hsieh B, Xiong Z, Halsey K, Choi JW, Tran TM, et al. Performance of radiologists in differentiating COVID-19 from non-COVID-19 viral pneumonia at chest CT. *Radiology*. 2020; 296: e46-e54.

30. Nasir N, Kansal A, Barneih F, Al Shaltone O, Bonny T, Al-Shabi M, et al. Multi-modal image classification of COVID-19 cases using computed tomography and X-rays scans. *Intell Syst Appl.* 2023; 17: 200160.
31. Mohan N, Kabeer S, Nasir N. Artificial Intelligence (AI) in the diagnosis of COVID-19 Detection: A Review. 2021 28th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS); 2021 November 28 - 2021 December 01; Dubai, United Arab Emirates. Piscataeville, NJ, US: IEEE.
32. Nasir N, Al Ahmad M. Measuring transmittance of human female breast cells through spectrophotometry and generating its equivalent circuit by prony modelling. In: 2017 4th IEEE International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS). Salmabad, Bahrain: IEEE; 2017. pp. 1-5.
33. Nasir N, Oswald P, Alshaltone O, Barneih F, Al Shabi M, Al Shammaa A. Deep DR: Detection of diabetic retinopathy using a convolutional neural network. In: 2022 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET). Dubai, United Arab Emirates: IEEE; 2022. pp. 1-5.
34. Nasir N, Afreen N, Patel R, Kaur S, Sameer M. A transfer learning approach for diabetic retinopathy and diabetic macular edema severity grading. *Rev Intell Artif.* 2021; 35: 497-502.
35. Seo G, Lee G, Kim MJ, Baek SH, Choi M, Ku KB, et al. Rapid detection of COVID-19 causative virus (SARS-CoV-2) in human nasopharyngeal swab specimens using field-effect transistor-based biosensor. *ACS Nano.* 2020; 14: 5135-5142.
36. Nasir N, Raji S, Mustafa F, Rizvi TA, Al Natour Z, Hilal Alnaqbi A, et al. Electrical detection of blood cells in urine. *Heliyon.* 2020; 6: e03102.
37. Nasir N, Najjar A, Al Ahmad M. Optical characterization of calcium oxalate hydrate in urine. In: 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS). Bangkok, Thailand: IEEE; 2018. pp. 1-5.

II. DISCUSIÓN

a. COVID-19 en poblaciones de altura

Una serie de publicaciones realizadas en el Perú, Bolivia y Ecuador durante los años 2020 y 2023 sugerían que la mortalidad por COVID-19 era menor en poblaciones de altura^{1,2,3}. Accinelli y colaboradores¹ realizaron un estudio ecológico en el que mostraban que la tasa de mortalidad era menor en localidades del Perú por encima de los 2500 metros sobre el nivel del mar. Presentaron la observación de que por cada incremento de la altitud en 500 metros la mortalidad disminuía en 40%. Esta observación fue apoyada por Zubieta-Deurioste y colaboradores² quienes presentaron evidencia de menor mortalidad por COVID-19 en localidades de altura en 5 países de Latinoamérica. A esto se agregaron datos fisiopatológicos planteados por Arias-Reyes³ y Zubieta-Calleja y colaboradores⁴.

Ante estas afirmaciones, Pérez-Castilla⁵ mostró que la pandemia del COVID-19 afectó a las diferentes localidades del Perú en diversos momentos y que mientras en algunas localidades, especialmente en las zonas de altura, recién se iniciaba, en las zonas costeras se encontraba ya en resolución tras haber tenido su pico máximo de morbilidad y mortalidad. A estas observaciones se suma el estudio de Del Valle-Mendoza y colaboradores⁶ que mostraron que los pacientes con COVID-19 en la altura tenían niveles de citoquinas inflamatorias superiores a las de aquellos que se encontraban a nivel del mar. Los valores de interleucina 6 y factor de necrosis tumoral alfa, se encontraban significativamente más elevados en pobladores de Huaraz a comparación con aquellos evaluados en Lima. En forma paralela, en Europa, Burtscher⁷ mostró

que no había diferencia en la mortalidad entre las localidades a diferentes altitudes en Austria. La menor mortalidad observada en ciertas localidades en altura se atribuyó a la menor densidad poblacional, al nivel más intenso de radiación ultravioleta, el mayor aislamiento de ciertas localidades, en algunos casos casi inaccesibles, a una mayor tolerancia a la hipoxia, entre otros⁸.

b. Comparación con otros estudios sobre patrones tomográficos del COVID-19, por debajo de los 1,000 msnm

El tipo de lesión tomográfica pulmonar más frecuentemente descrita en los pacientes con COVID-19 es el patrón en vidrio esmerilado, el cual se identificó en el 93.3% de 100 pacientes evaluados por Keskin y colaboradores en Karabük, Turquía⁹. En el 2020, en el hospital del condado de Xiaochang, en la provincia de Hubei, China, Song Peng y colaboradores¹⁰ describieron 118 casos que tenían estudios tomográficos completos: el 84% de los pacientes tuvieron lesiones en vidrio esmerilado. Por otro lado, Nizamuddin y Shakeeb en Hyderabad, India¹¹ encontraron que el 78% de 250 pacientes, entre 20 y 70 años presentaban estas lesiones. Una proporción casi idéntica fue hallada por Song en China¹², quien reportó que el 77 % de los pacientes las presentó. Xu¹³, de manera similar, reportó estas lesiones en el 72% de los casos, mientras que Soriano¹⁴, en España, las identificó en sólo el 60,4% de los casos, y Espósito en Italia¹⁵, en 1469 pacientes, sólo en el 56.8%, aunque con tomografías tomadas en las primeras 72 horas de la hospitalización.

En la revisión sistemática de Salehi¹⁶, el 88% de los pacientes presentaron lesiones en vidrio esmerilado, siendo bilaterales en el 87,5% de los casos. Por

su parte, en el metaanálisis de Sharif y colaboradores¹⁷ del 2022, basado en 86 estudios tomográficos, realizados en 7,956 pacientes, el patrón mencionado se presentó en el 73 %.

La segunda lesión más frecuentemente hallada fue la consolidación alveolar. En Hyderabad, India¹⁵, la consolidación afectó al 60%, y en el estudio de Song¹², al 59%. En un estudio realizado en el Hospital Tongji¹⁸ en Wuhan, China, con 42 pacientes con COVID-19 confirmado, hospitalizados entre enero y febrero del 2020, las consolidaciones se observaron en el 55% de los casos al inicio – proporción igual a la hallada en Huancayo - llegando hasta el 81% en la tomografía de control. En Karabük, Turquía⁹, solo afectó al 41.5%, con un 33.8% que presentó consolidación en combinación con vidrio esmerilado. Fe menos frecuente aun en la serie de Sharif y colaboradores¹⁷ con un 34 %, y en la de Xu¹³, con un 12%.

La tercera lesión en frecuencia fue el patrón reticular el cual se encontró en el 75% de los casos en la serie de Song en China¹², en el 61% según Xu¹³, en el 56% según Song Peng¹⁰, en el 46% en Hyderabad, India¹¹, entre el 36% y 74% en el Hospital Tongji¹⁸ en Wuhan, China, pero solo en el 38.8% de los pacientes de Huancayo.

Con respecto a la distribución de las lesiones, en el Hospital Tongji¹⁸, el 59% tenía compromiso tanto central como periférico el cual llegó al 81% en la tomografía de control. En Karabük, Turquía⁹, el 61.5% tenía distribución periférica y solo el 38.4% distribución tanto central como periférica. Xu¹³ observó un predominio de distribución periférica, el cual llegó al 51%. En el

estudio de Soriano en España¹⁴, la distribución periférica se observó en el 66,7%, pero fue periférica y central solo en el 27,5%, mientras que según Ashtari¹⁹, las opacidades fueron centrales y periféricas en el 71.2% de los pacientes fallecidos, pero en los que sobrevivieron, y en los casos leves, las lesiones fueron centrales y periféricas solo en el 15.5%, mostrando que la distribución central y periférica se asocia a una mayor mortalidad. En Huancayo esta distribución se observó en el 85.6% de los casos.

Las lesiones fueron bilaterales en el 97% de los casos reportados por Song en China¹², y los cinco lóbulos estaban afectados en el 79% de los pacientes. Xu¹³ observó una distribución bilateral en el 59% de los casos. El compromiso bilateral. También predominó en Hyderabad, India¹¹. En la revisión sistemática de Salehi¹⁶, los cinco lóbulos estaban afectados en el 78,8%, mientras que en Huancayo el compromiso de todos los lóbulos llegó al 52% y en el Hospital Tongji¹⁸ alcanzó el 48% al ingreso y durante el seguimiento llegó hasta el 74%.

En el estudio de Song Peng¹⁰ las áreas más afectadas fueron el lóbulo inferior izquierdo en un 89% y el lóbulo inferior derecho en un 83.9%. En Huancayo, el lóbulo más comprometido fue el lóbulo inferior derecho en 45.5%, seguido del lóbulo inferior izquierdo en 44.4%, de forma similar que en el estudio de Salehi y colaboradores¹⁶, quienes encontraron 76% de afectación del lóbulo inferior derecho y 57% del lóbulo medio. Una distribución similar fue determinada por Xu y colaboradores¹³, quienes encontraron compromiso del lóbulo inferior derecho en el 66% y del lóbulo inferior izquierdo en 61%. Por otro lado, Sharif y colaboradores¹⁷ reportaron que el lóbulo inferior izquierdo

estaba afectado en el 67% de los casos y el derecho en el 66%, mientras que el lóbulo medio derecho era el menos comúnmente afectado.

Con respecto a las lesiones menos frecuentes, se encontraron broncogramas aéreos en hasta el 80 % de los pacientes de la serie de Song en China¹², mientras que en la de Song Peng¹⁰, se describió en el 46.6%. El engrosamiento de los septos interlobulares se observó en el 55% de los pacientes de Hyderabad, India¹¹, y entre el 41 y 69% en el Hospital Tongji¹⁸, mientras que en el estudio de Xu¹³, llegaron solo al 37%. El engrosamiento pleural se determinó en el 56% de los pacientes de Xu¹³, en el 30,2% de los de Soriano¹⁴, y en el 24 % de los de Sharif y colaboradores¹⁷. El “empedrado desorganizado” se apreció en el 27% de los casos de Sharif¹⁷, el 12.3% en Turquía⁹ y en el 12% de los pacientes de Xu¹³.

Se identificaron bronquiectasias en el 24% de los casos de Sharif¹⁷ y en el 13.8% de Karabük, Turquía⁹. El derrame pleural fue poco frecuente: 12% al inicio y 38% al alta en el Hospital Tongji¹⁸, 12.3% en Turquía⁹, 8% en el estudio de Song¹², 7.7% en España¹⁴, 6% en la India¹¹, y 0.8% según Song Peng¹⁰. El derrame pericárdico se reportó en el 6% de los casos de Song¹² y en el 1.5% de los casos de Karabük⁹. El engrosamiento de la pared bronquial se observó en el 30% de los casos de Hyderabad¹¹ y en el 5% de los de Karabük⁹. Solo el estudio de la India¹¹ reportó respecto al patrón en panal de abejas, el cual llegó al 22%.

Mención aparte merecen las dilataciones vasculares, reportadas en el 61% de los casos de Sharif¹⁷, el 48.4% de los de Soriano¹⁴, el 36.4% de los de Song Peng¹⁰, comparados al 35% de los casos de Huancayo. Haiying Lv y

colaboradores²⁰ realizaron un metaanálisis y una revisión sistemática de evaluación de las características tomográficas de pacientes con COVID-19 reportados en bases de datos en idioma chino e inglés hasta abril del año 2020, llegando a identificar 1969 pacientes en 22 estudios, encontrando que el 69.37% de los pacientes presentaban dilataciones vasculares y que esta característica fue distintiva del COVID-19 al compararlo con otras causas de neumonía atípica, llegando a calcular un odds ratio de 6.43 para diagnóstico de COVID-19. No encontraron diferencias significativas en la presencia de este hallazgo al comparar diferentes regiones como por ejemplo China e Italia.

En relación con las adenopatías intratorácicas, ningún estudio publicado hasta la fecha ha encontrado una prevalencia de adenopatías tan alta como en la población de Huancayo, donde el 45.2% de los pacientes presentaron adenopatías, el 27.4 % presentó adenopatías paratraqueales y el 17.9 % subaórticas. El estudio de Soriano¹⁴ reportó una prevalencia de 24.9%, Song¹² un 27%, y en el Hospital Tongji¹⁸ un 29%. Estas adenopatías podrían indicar un aumento de la respuesta inmunitaria, pero ningún estudio hasta la fecha las ha asociado con mayor mortalidad y gravedad. Una baja prevalencia de adenopatías fue reportada por Song Peng¹⁰ con un 1.7%, Zheng y colaboradores²¹, con un 3 a 13%, así como en la India¹⁵ con un 8%, y Turquía⁹, con un 10.7%.

Un estudio realizado en Japón²² con los resultados de tomografías de tórax de 396 pacientes atendidos en 68 hospitales entre enero y septiembre del 2020 comparó los patrones presentes en aquellos pacientes con COVID-19 grave que necesitaban manejo en la unidad de cuidados intensivos con aquellos casos

leves. Las lesiones en vidrio esmerilado se presentaron en ambos grupos con igual frecuencia; sin embargo, los pacientes con mayor gravedad tuvieron una mayor frecuencia de ciertas lesiones como consolidación alveolar (O.R 3.7), broncograma aéreo (O.R 13.59), patrón “empedrado desorganizado” (O.R 8.3), engrosamiento de la pared bronquial (O.R 6.3), bronquiectasias (O.R 25.3), derrame pleural (O.R 24.6), engrosamiento pleural (O.R 11.7). La distribución central y periférica, así como el compromiso bilateral se asoció a una mayor severidad de la enfermedad.

Del mismo modo, Zhen, Wang y Ben²³ realizaron un metaanálisis incluyendo estudios de pacientes adultos con neumonía por COVID-19 confirmada, evaluando 7 características de la tomografía asociadas a severidad de la enfermedad en 1453 pacientes con COVID-19 no complicado y 697 con COVID-19 severo. Los patrones asociados a mayor severidad del cuadro clínico fueron el patrón en “empedrado desorganizado”, las bronquiectasias de tracción, la consolidación el engrosamiento de los septos interlobulares, el derrame pleural, la linfadenopatía y el patrón reticular. No se asociaron como mayor severidad de la enfermedad, la presencia de nódulos, bandas subpleurales, patrón en vidrio esmerilado, crecimiento vascular, engrosamiento de la pared bronquial, la distribución periférica y el broncograma aéreo. Los hallazgos descritos tanto los asociados con severidad como los que no se asociaron a mal pronóstico se pudieron observar también en la población de Huancayo.

Un estudio multicéntrico retrospectivo realizado en Italia¹⁵ evaluó a 1469 pacientes, comparando el diámetro promedio de la arteria pulmonar en la tomografía entre los fallecidos y sobrevivientes. Los pacientes fallecidos

tuvieron una mayor dilatación de la arteria pulmonar con valores de 31 mm o más. Los autores propusieron que el diámetro de la arteria pulmonar podría ser utilizado como un indicador de riesgo de fallecimiento en pacientes con COVID-19. Esta asociación entre el mayor diámetro de la arteria pulmonar y la mortalidad también se observó en otro estudio de Huancayo²⁴ en el cual los sobrevivientes tuvieron un diámetro promedio de la arteria pulmonar de 26.12 milímetros y los fallecidos un promedio de 28.85 mm. En un estudio similar también realizado en Italia²⁵ se utilizó la técnica del aprendizaje automatizado (machine learning) para poder predecir mortalidad por COVID-19 con datos tomográficos. Evaluando las tomografías de 897 pacientes se determinó que aquellos que sobrevivieron tuvieron un promedio de diámetro de la arteria pulmonar de 27 mm mientras que los fallecidos tuvieron un promedio de 29 pm. Esta diferencia se observó también cuando se midió el diámetro de la aorta ascendente (36.6 mm versus 34 mm). La capacidad predictiva del diámetro de la arteria pulmonar sólo fue superada por la edad y el porcentaje de parénquima pulmonar comprometido.

La mayoría de los casos en nuestra población se encontraban en la fase pico (48,7%), seguida de la fase progresiva en 30,59%. En algunos casos, se encontró una combinación de fases, con un 8,94% en la fase pico y absortiva, un 6,12% en la fase pico y progresiva, y un 5,65% en la fase absortiva. Según Zheng y colaboradores²¹, los pacientes con COVID-19 pasan por dos etapas: la etapa progresiva, que dura desde los primeros 3 a 14 días de la enfermedad, y la fase absortiva, que ocurre durante las semanas 2 a 3. El deterioro pulmonar máximo se observa habitualmente el día 10 de hospitalización. Pan²⁸ ha mostrado que el máximo compromiso pulmonar ocurre el décimo día, según una serie de casos de

21 pacientes, y sugiere que la fase pico puede ocurrir entre los días 10 y 13 de la enfermedad y, a partir del día 14, la fase absortiva. Las Tablas 1,2,3 y 4 resumen diferentes estudios respecto a las características

de la tomografía computarizada de tórax en pacientes con COVID-19 para fines de comparación con los resultados obtenidos en Huancayo, a 3,250 msnm.

La Tabla 1 presenta las características generales de los artículos existentes sobre hallazgos radiológicos detallados en la tomografía de tórax en pacientes con COVID-19 por debajo de los 1,000 msnm. La Tabla 2 revela los patrones tomográficos hallados en los diferentes estudios mencionados.

Tabla 1. Estudios de tomografía computarizada de tórax en pacientes con COVID-19 a menos de 1000msm: características generales

Autor/ Estudio	País	Ciudad	Altura (msnm)	Número de pacientes	Edad media (años)	Proporción masculina (%)	Presencia de disnea (%)
Peng	China	Xiaochang	52	118	46	52.5	
Xion	China	Wuhan	37	42	49.5	60	19
Espósito	Italia	Milán	120	1469	69	70.6	
Nizamuddin	India	Hyderabad	250	536		34	
Keskin	Turquía	Karabük	354	100	44.2	67	
Song	China	Shanghai	102	51	49	49	31
Soriano	España	Navarra	450	182	60	58.2	
Xu	China	Cantón	21	90	50	43.3	21

Tabla 2. Estudios de tomografía computarizada de tórax en pacientes con COVID-19 a menos de 1000msnm: patrones radiológicos principales

Ciudad	Distribución periférica (%)	Distribución mixta (%)	Compro-miso bilateral (%)	Opacidades en vidrio esmerilado (%)	Consolidaciones (%)	Adenopatías (%)	Septos engrosados (%)	Derrame pleural (%)
Xiaochang			84.7	61	45.8	1.7		0.8
Wuhan		59			55	29	41	12
Milán				56.8				
Hyderabad			74	78	60	8	55	6
Karabük	61.5	38.4	73.8	93.3	41.5	10.7		12.3
Shanghai	86	2	86	77	59	27	75	8
Navarra	66.7	27.5	84.1	60.4	37.9	24.9	37.9	7.7
Cantón	51	69	59	72	12	1	37	4

Tabla 3. Estudios de tomografía computarizada de tórax en pacientes con COVID-19 a más de 1000msnm: características generales

Autor/Estudio	País	Ciudad	Altura (msnm)	Número de pacientes	Edad media (años)	Proporción masculina (%)	Presencia de disnea (%)
Calderón	Perú	Huancayo	3,250	464	56.1	63.1	89.2
Zeng	China	Ganzi	2,979	68		55.8	
Yue	China	Gansu	1,601	86	41	46.2	7
Ashtari	Irán	Teherán	1,200	363	61.6	63.8	

Tabla 4. Estudios de tomografía computarizada de tórax en pacientes con COVID-19 a más de 1000msnm: patrones radiológicos principales

Ciudad	Distribución periférica (%)	Distribución mixta (%)	Compro-miso bilateral (%)	Opacidades en vidrio esmerilado (%)	Consolidaciones (%)	Adenopatías (%)	Septos engrosados (%)	Derrame pleural (%)
Huancayo	4.1	85.6	71.6	93.8	86.2	45.2	46.1	2.8
Ganzi	71.7							
Gansu			66.3	>50				
Teherán			93.4	91.7	60.6	8		11.3

c. Evaluación de otros estudios sobre patrones tomográficos del COVID-19 en poblaciones de altura

Conociendo los factores de riesgo para mortalidad por COVID-19²⁹, entre los cuales se encuentra la presencia de comorbilidades como la hipertensión arterial o la diabetes, la edad avanzada, el incremento de la proteína C reactiva y la deshidrogenasa láctica, así como el desarrollo de eventos trombóticos y complicaciones vasculares, entre otras, no se encontraban descripciones detalladas de las alteraciones tomográficas de los pacientes que viven en la altura afectados por COVID-19. Por esta razón se realizó el presente estudio, con el objetivo primordial determinar si las alteraciones tomográficas en los pacientes con COVID-19 por encima de los 3000 m sobre el nivel del mar eran diferentes o similares a las descritas en la literatura en zonas por debajo de los 1000 msnm y si la severidad de la afectación pulmonar era mayor o menor en esas poblaciones.

En la población estudiada en el Hospital Carrión la tasa de comorbilidades fue alta: 40.3% de obesidad, 20.9% de diabetes mellitus tipo 2, 17% de hipertensión, 2.6% de enfermedad renal crónica. Los datos sobre las comorbilidades presentes fueron tomadas de la historia clínica, así como el valor del índice de masa corporal (IMC), el cual y se encontraba registrado y no pudo ser verificado.

Se pudo observar que sólo existían seis estudios sobre tomografía de tórax en pacientes con COVID-19 en la altura, los que se discuten a continuación.

Jie Zeng y colaboradores³⁰ del Hospital de Sichuan, China, presentaron en marzo del 2020 los primeros casos de tomografía de tórax en pacientes con COVID-19 en poblaciones de altura. El estudio lo realizaron en el hospital de Daofu en la prefectura de Ganzi, localizada a 2979 msnm. Fueron 68 pacientes, en los cuales se encontró compromiso principalmente del segmento inferior derecho en un 71.7%, y en el 34.7% compromiso de los 5 lóbulos. Estos resultados fueron comparables a los de Huancayo, donde el compromiso de los

5 lóbulos fue del 23% y en el 45.5% de los casos se afectó el lóbulo inferior derecho.

Otro estudio chino, realizado en la provincia de Gansu, en el hospital de Lanzhou³¹, a 1600 msnm, incluyó a pacientes atendidos entre enero y febrero del 2020. El 66.3% mostraron neumonía bilateral y a pesar de que hubo 15 pacientes asintomáticos, el 66% de éstos mostró alguna alteración tomográfica compatible con neumonía por SARS-CoV-2. El patrón más común fue el infiltrado en vidrio esmerilado, seguido por la consolidación alveolar. El patrón de vidrio esmerilado fue el más común también entre los pacientes de Huancayo (93.8%), así como en la mayoría de estudios tanto en la altura como por debajo de los 1,000 msnm, como se más adelante.

En Arabia Saudita³² se revisaron las historias clínicas y tomografías de 722 pacientes con COVID-19 confirmado, entre abril y septiembre del 2020, en la localidad de Taif, ubicada a 1879 msnm. El 68.6% de los pacientes estudiados tenía un puntaje de CO-RADS 5. Esta proporción fue similar a la encontrada en Huancayo, en la cual el 85.8% de los pacientes tenían una puntuación de CO-RADS 5. Este dato es muy importante ya que indica que la población estudiada tenía un gran compromiso parenquimal y alta severidad del cuadro clínico. Si bien es cierto el puntaje CORADS se creó para identificar mejor los casos de COVID-19, de modo tal que, a mayor puntaje, mayor era la probabilidad de que el paciente tuviera la enfermedad, diversos reportes han mostrado que a mayor puntaje de CORADS se presenta también mayor mortalidad, especialmente en aquellos pacientes que tienen comorbilidades³³. El estudio no describió el porcentaje de presentación de las diferentes lesiones,

aunque las de vidrio esmerilado fueron las más frecuentes. Por otro lado, se comparó la población de Taif, localizada en altura, con pacientes de la ciudad de Jeddah, localizada por debajo de los 1000 m sobre el nivel del mar. Los patrones tomográficos no fueron diferentes entre ambos grupos, pero la mortalidad fue tres veces superior en la zona de baja altitud. A pesar de que los pacientes de la altura tuvieron con mayor frecuencia trombosis venosa profunda, embolia pulmonar e infarto de miocardio, así como trombosis diversas, su tasa de mortalidad fue inferior a la del grupo de baja altitud. Los pacientes en las zonas bajas de Jeddah tuvieron con mayor frecuencia síndrome de distrés respiratorio del adulto (SDRA) así como disnea y fiebre, siendo su mortalidad mayor, aunque la tasa de comorbilidades fue similar en ambos grupos. Estudios similares no se han realizado en nuestro país,

pero el hecho de que a pesar de la del desarrollo de un mayor porcentaje de eventos trombóticos, el pronóstico fuera mejor en los pacientes en la altitud, apunta a que más allá de los factores ambientales existiría una mayor capacidad de resistencia del poblador de altura ante el COVID-19, lo cual sería explicable en relación a las diversas adaptaciones respiratorias, metabólicas y cardiovasculares que experimenta el poblador de altura en el proceso de aclimatación a la vida en regiones por encima de los 1000 m sobre el nivel del mar³⁴.

En otro estudio peruano realizado por Calderón-Gerstein y colaboradores¹⁸ se apreció un resultado similar al de Arabia Saudita, clasificándose al 26% como enfermedad severa y al 60.1% como enfermedad pulmonar moderada, llegando los casos leves sólo hasta un 12.3%. Los pacientes con daño pulmonar severo tuvieron un 79.2% de mortalidad. En este estudio fueron evaluados 203 pacientes hospitalizados por COVID-19 en el Hospital Regional Daniel Alcides Carrión de Huancayo, durante el año 2021. Al igual que en los estudios ya mencionados, la mayoría de los pacientes tuvieron lesiones en vidrio esmerilado, llegando hasta un 99% de los casos, y siendo bilaterales en un 70%. Las consolidaciones se observaron en un 90.6%, el engrosamiento de septos en un 60.1%, las dilataciones vasculares en un 47.8% y los nódulos o ganglios paratraqueales en un 47.3%. Tratándose de una población por encima de los 3000 m sobre el nivel del mar, la frecuencia de lesiones pulmonares fue similar a las ya descritas.

En un estudio retrospectivo realizado en el Cuzco, a 3400 msnm³⁵, con 977 pacientes fallecidos por COVID-19, hospitalizados entre marzo del 2020 y junio de 2021, se encontró un puntaje de CO-RADS 4 o 5 en el 63% de los casos. No se describieron las diferentes lesiones tomográficas. El estudio realizada en Cusco, a

diferencia de los realizados en Huancayo, China y Arabia Saudita revisó los registros médicos de los pacientes con COVID-19 pero no las tomografías en sí. Por esta razón no se precisó cuántos pacientes tenían CORADS 4 o 5, ni las características y la frecuencia de las lesiones pulmonares.

El estudio de Ashtari en Teherán, ubicado a 1,200 msnm¹⁹ evaluó los patrones tomográficos en fallecidos y sobrevivientes, hallando que los pacientes fallecidos por COVID-19 presentaban una combinación de vidrio esmerilado con consolidación en el 84,6 % de los casos. Este patrón de lesión solo se observó en el 38,11 % de los pacientes no críticos. De igual manera, encontraron que hasta el 21,2 % de los pacientes fallecidos presentaban derrame pleural. Las adenopatías también serían un indicador de gravedad, ya que el 7,7 % de los pacientes las presentaron, a diferencia del 3,6 % de aquellos con COVID-19 leve.

Otro estudio de Calderón-Gerstein y colaboradores³⁷ realizado en la ciudad de Huancayo con 320 pacientes del Hospital Nacional Ramiro Prialé Prialé de Essalud y 489 pacientes del Hospital Regional Daniel Alcides Carrión evaluó la severidad de las lesiones tomográficas y su asociación con la mortalidad en pacientes con COVID-19. Los pacientes fallecidos tuvieron un diámetro superior de la arteria pulmonar (28.85 mm) que los sobrevivientes (26.12 mm). El puntaje CORADS fue en promedio 0.17 superior en los fallecidos, quienes a su vez tenían el 66.6% del pulmón comprometido a diferencia del 54.6% en los sobrevivientes. La presencia de engrosamiento de los septos y patrón de “empedrado desorganizado” fue mayor en los pacientes que fallecieron. El estudio determinó que el riesgo de mortalidad se incrementaba significativamente cuando el compromiso pulmonar era superior

al 55% y había presencia de engrosamiento de los septos. Los pacientes con compromiso pulmonar superior al 90% tuvieron la mayor mortalidad y estos hallazgos se sumaron a las alteraciones bioquímicas ya mencionadas y al antecedente de comorbilidades pulmonares como la presencia de enfermedad pulmonar intersticial difusa previa. Los hallazgos tomo gráficos y su asociación con la mortalidad fueron similares a los descritos a nivel del mar.

Revisando los estudios realizados sobre alteraciones de la tomografía de tórax y el desarrollo de patrones de lesión por COVID-19 pobladores de altura se puede observar que son bastantes limitados en número y en el detalle de la descripción de las lesiones observadas. Sin embargo, es posible apreciar que el tipo de lesiones y la severidad de éstas no difiere de lo descrito en los diversos reportes realizados por debajo de los 1000 m sobre el nivel del mar. Estos

resultados contradicen los reportes iniciales que sugerían que el compromiso pulmonar por COVID-19 sería más leve en la en la altura. Según los resultados evaluados la causa de la menor mortalidad por COVID-19 en la altura estaría en relación con la mayor capacidad de adaptación cardiaca y pulmonar que las personas aclimatadas a vivir en condiciones de hipoxia crónica han desarrollado a través de los años³³. La menor cantidad de casos en la altura podría estar en relación con hechos ya conocidos como el mayor aislamiento geográfico de las poblaciones en altura, así como a una mayor intensidad de la radiación ultravioleta la cual es letal para el SARS-Cov2. No se observó ningún patrón nuevo o inusual en las tomografías de tórax de los pacientes afectados por COVID-19 en altura que no haya sido descrito previamente en zonas de baja altitud.

El estudio de Huancayo se desarrolló en la localidad de mayor altitud de todos los

estudios tomográficos existentes hasta la actualidad. Del mismo modo, fue el estudio con mayor número de tomografías evaluadas y el que tenía una mayor proporción de pacientes que ingresaron con disnea (89.2%), seguido por el estudio cantonés con un 69%. Este dato clínico indica que la población estudiada se encontraba afectada en forma severa en comparación con las otras investigaciones.

La Tabla 3 presenta las características generales de los artículos existentes sobre hallazgos radiológicos detallados en la tomografía de tórax en pacientes con COVID-19 en poblaciones de altura. La Tabla 4 revela los patrones tomográficos hallados en los estudios comparados. En particular, el estudio de Huancayo fue el que presentó una menor proporción de distribución exclusivamente periférica de las lesiones con un 4.1%, seguido de lejos por el

estudio cantonés con un 51%. Fue del mismo modo aquel estudio que mostró una mayor proporción de distribución mixta, tanto central como periférica, alcanzando el 85.6% seguida por el estudio cantonés con un 69%. Del mismo modo en la población de Huancayo se encontró el mayor porcentaje de consolidaciones, el cual fue de 86.2%, seguido por el estudio de Teherán con un 60.6%. Una característica distintiva fue la presencia de adenopatías, las cuales llegaron hasta el 45.2%, mientras que el otro estudio que tuvo una alta proporción de estas lesiones, el estudio de Milán llegó solo al 29% y la mayoría de las investigaciones mostraban una frecuencia por debajo del 10%. La Tabla 5 compara las características tomográficas más resaltantes de los estudios realizados en poblaciones de altura y en zonas de menor altitud.

Tabla 5. Estudios de tomografía computarizada de tórax en pacientes con COVID-19 a diferentes altitudes: patrones radiológicos principales

Ciudad	Altura (msnm)	Distribución mixta (%)	Compromiso bilateral (%)	Opacidades en vidrio esmerilado (%)	Consolidaciones (%)	Adenopatías (%)	Septos engrosados (%)	Derrame pleural (%)
Huancayo	3,250	85.6	71.6	93.8	86.2	45.2	46.1	2.8
Ganzi	2,979							
Gansu	1,601		66.3	>50				
Teherán	1,200		93.4	91.7	60.6	8		11.3
Xiaochang	52		84.7	61	45.8	1.7		0.8
Wuhan	37	59			55	29	41	12
Milán	120			56.8				
Hyderabad	250		74	78	60	8	55	6
Karabük	354	38.4	73.8	93.3	41.5	10.7		12.3
Shanghai	102	2	86	77	59	27	75	8
Navarra	450	27.5	84.1	60.4	37.9	24.9	37.9	7.7
Cantón	21	69	59	72	12	1	37	4

d. Discriminación de los patrones tomográficos del COVID-19 con otras patologías similares

C. Majella y T. Adaikkalam²⁶ evaluaron 120 pacientes hospitalizados con disnea e hipoxia entre el año 2021 y 2022 en un hospital del sur de la India. Describieron los hallazgos tomográficos y buscaron diferenciar la insuficiencia cardiaca del COVID-

19. Pudieron apreciar que la presencia de cardiomegalia, el incremento de la relación arteria- bronquio, el engrosamiento de los septos interlobulillares y el derrame pleural y pericárdico se asociaban con la presencia de insuficiencia cardíaca más que con COVID-19. Los estudios fueron complementados con ecocardiograma, el cual mostraba disminución de la fracción de eyección y dilatación del ventrículo izquierdo en los pacientes con insuficiencia cardíaca.

Un estudio realizado por Çıvıgın y colaboradores en la ciudad de Ankara en Turquía²⁷, comparó los hallazgos en la tomografía de tórax en 120 pacientes con COVID-19 con 83 que tenían neumonía atípica de otra causa. Los pacientes con COVID-19 tenían generalmente una distribución bilateral de las lesiones, así como un patrón periférico y presencia más frecuente de lesiones en vidrio esmerilado, “empedrado desorganizado” y consolidaciones en forma de parche. Aquellos con neumonía atípica de otro origen presentaron con mayor frecuencia nódulos centrolobulillares, derrame pleural y consolidaciones multifocales.

Un reporte de casos de 7 pacientes pediátricos menores de 14 años de la localidad de Haixi, China, ubicada a 2999 msnm³⁶, mostró una superposición entre las lesiones de COVID-19 y las del edema pulmonar de altura en residentes de la localidad estudiada. Los autores señalaron que el COVID 19 puede ocasionar un cuadro de edema pulmonar similar al edema agudo de pulmón de la altura en pacientes ya aclimatados. Las lesiones consistían en placas alveolares e infiltrados en vidrio esmerilado localizadas alrededor del hilio vascular y de los septos interlobulares, especialmente en la periferia del pulmón. Según los resultados de este estudio cuando los infiltrados en vidrio esmerilado se encuentran en la zona cercana al hilio, y se presenta engrosamiento de los septos interlobulares periféricos

es probable que las lesiones correspondan a un edema pulmonar más que a la infiltración ocasionada por el propio virus. Este es el único reporte en la altura en el cual se realizó ecocardiograma a los pacientes para dilucidar si existía una probable superposición de compromiso cardíaco y pulmonar en los pacientes afectados por COVID-19 en altura. No existen estudios similares en nuestro medio y lamentablemente los datos de esta pequeña serie de casos de sólo 7 pacientes no pueden extrapolarse a lo sucedido en otros individuos afectados en la altura ya que se trata de una población pequeña y en edad pediátrica.

A la luz de la nueva revisión realizada se observó que, según los datos de las tomografías de tórax estudiadas, la afectación de la población de Huancayo del hospital Daniel Alcides Carrión fue particularmente severa, con una alta proporción de tomografías con puntuación de CORADS 5, lesiones de distribución bilateral, con un alto porcentaje de consolidaciones y “empedrado desorganizado”, así como casi un 90% de pacientes que ingresaron por disnea. Las características observadas en las tomografías no diferían de aquellas descritas en poblaciones de zonas bajas; sin embargo, fue particularmente elevado el porcentaje de pacientes con adenopatías, presencia de consolidaciones y distribución tanto central como periférica. Estas 3 características podrían estar relacionadas con un patrón tomográfico típico de zonas de gran altitud, particularmente la presencia de adenopatías, ya que tal como se mencionó⁶, en los estudios existentes a la fecha, se ha encontrado que la respuesta inmunológica ante el COVID-19 en la altura estaría más exacerbada que en las poblaciones de menor altitud. Para poder determinar si existe o no un patrón topográfico diferente para las lesiones de COVID-19 en altitud sería necesario realizar nuevos estudios retrospectivos que revisen las tomografías

de tórax de los pacientes afectados a diferentes altitudes y con distintos grados de severidad.

III. CONCLUSIONES

Las conclusiones del estudio fueron las siguientes:

- El 85.5% de las tomografías se clasificaron como CORADS 5.
- La mayoría de los casos presentaron una gran severidad según las lesiones pulmonares y las pruebas bioquímicas alteradas.
- La afectación pulmonar total por tomografía fue del 52,03% en promedio.
- El patrón más frecuente fue el de vidrio deslustrado (93,8%), seguido del patrón de consolidación alveolar (86,2%).
- En el 85,6% de los pacientes, la distribución de las lesiones fue central y periférica.
- La presencia de nódulos paraaórticos y subaórticos fue más frecuente que en el resto de los estudios publicados.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Accinelli RA, Leon-Abarca JA. At High Altitude COVID-19 Is Less Frequent: The Experience of Peru. *Arch Bronconeumol (Engl Ed)*. 2020 Nov;56(11):760-761. English, Spanish. doi: 10.1016/j.arbres.2020.06.015. Epub 2020 Jul 16.
2. Zubieta-Deurioste, Natalia et al. COVID-19 Mortality Is Attenuated at High Tropical and Subtropical Altitude: An Observational Study of a Database Covering Five Latin American Countries. *Medical Research Archives*, [S.l.], v. 11, n. 8, aug. 2023. doi: <https://doi.org/10.18103/mra.v11i8.4299>.
3. Arias-Reyes C, Zubieta-DeUrioste N, Poma-Machicao L, Aliaga-Raudan F, Carvajal-Rodriguez F, Dutschmann M, et al. Does the pathogenesis of SARS-CoV-2 virus decrease at high-altitude? *Respir Physiol Neurobiol*. 2020; 277:103443.
4. Zubieta Calleja G, Merino Luna A, Zubieta DeUrioste N, Armijo Subieta NF, Soliz J, Arias Reyes C, et al. Re: “ mortality attributed to COVID-19 in high-altitude populations” by Woolcott and Bergman. *High Alt Med Biol*. 2021; 22: 102-104.
5. Perez-Castilla J. High Altitude and COVID-19: A Relationship Difficult to Assess. *Arch Bronconeumol*. 2021 Apr;57:68-70. doi: 10.1016/j.arbres.2021.01.021. Epub 2021 Feb 5.
6. Del Valle-Mendoza J, Tarazona-Castro Y, Merino-Luna A, Carrillo-Ng H, Kym S, Aguilar-Luis MA, Del Valle LJ, Aquino-Ortega R, Martins-Luna J, Peña-Tuesta I, Silva-Caso W. Comparison of cytokines levels among COVID-19 patients living at sea level and high altitude. *BMC Infect Dis*. 2022 Jan

28;22(1):96. doi: 10.1186/s12879-022-07079-x.

7. Burtscher J, Millet GP, Leitner B, Burtscher M. Health Benefits of Residence at Moderate Altitude Do Not Reduce COVID-19 Mortality. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Dec 1;19(23):16074. doi: 10.3390/ijerph192316074.
8. Pun M, Turner R, Strapazzon G, Brugger H, Swenson ER. Lower Incidence of COVID-19 at High Altitude: Facts and Confounders. *High Alt Med Biol*. 2020 Sep;21(3):217-222. doi: 10.1089/ham.2020.0114. Epub 2020 Jul 21.
9. Keskin K, Başdemirci M, Başdemirci O, Hamidi AA. Evaluation of COVID-19 Findings on Thoracic CT: Is There any Correlation with Age and Comorbidity? *Med Records*. January 2025;7(1):251-257.
doi:10.37990/medr.1554665.
10. Peng S, Chen J, Zhang W, Zhang B, Liu Z, Liu L, Wu Z, Fu R, Li X, Lv F. The role of chest CT quantitative pulmonary inflammatory index in the evaluation of the course and treatment outcome of COVID-19 pneumonia. *Sci Rep*. 2021 Apr 8;11(1):7752. doi: 10.1038/s41598-021-87430-5.
11. Nizamuddin M. & M. Shakeeb, 2024. CT Findings in COVID 19 Infection. *Res. J. Med. Sci.*, 18: 156-160, doi: 10.59218/makrjms.2024.6.156.160
12. Song F, Shi N, Shan F, Zhang Z, Shen J, Lu H, Ling Y, Jiang Y, Shi Y. Emerging 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia. *Radiology*. 2020 Apr;295(1):210-217.
13. Xu X, Yu C, Qu J, Zhang L, Jiang S, Huang D, Chen B, Zhang Z, Guan W, Ling Z, Jiang R, Hu T, Ding Y, Lin L, Gan Q, Luo L , Tang X, Liu J. Imaging and clinical features of patients with 2019 novel coronavirus SARS-CoV-2. *Eur*

- J Nucl Med Mol Imaging. 2020 May;47(5):1275-1280.
14. Soriano- Aguadero I, Ezponda -Casajús A, Mendoza- Ferradas F et al. Chest computed tomography findings in different phases of SARS-CoV-2 infection]. Radiologia. 2021 May-Jun;63(3):218-227.
 15. Esposito A, Palmisano A, Toselli M, et al. Chest CT-derived pulmonary artery enlargement at the admission predicts overall survival in COVID-19 patients: insight from 1461 consecutive patients in Italy. Eur Radiol. 2021 Jun;31(6):4031-4041. doi: 10.1007/s00330-020-07622-x. Epub 2020 Dec 23.
 16. Salehi S, A. Abedi, S. Balakrishnan, A. Gholamrezanezhad. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): a systematic review of imaging findings in 919 patients. AJR Am J Roentgenol, 215 (2020), pp. 1-7 <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.20.23233>.
 17. Sharif PM, Nematizadeh M, Saghazadeh M, Saghazadeh A, Rezaei N. Computed tomography scan in COVID-19: a systematic review and meta-analysis. Pol J Radiol. 2022 Jan 5;87:e1-e23. doi:10.5114/pjr.2022.112613.
 18. Xiong Y, Sun D, Liu Y, Fan Y, Zhao L, Li X, Zhu W. Clinical and High-Resolution CT Features of the COVID-19 Infection: Comparison of the Initial and Follow-up Changes. Invest Radiol. 2020 Jun;55(6):332-339. doi: 10.1097/RLI.0000000000000674.
 19. Ashtari S, Vahedian-Azimi A, Shojaee S, Pourhoseingholi MA, Jafari R, Bashar FR, Zali MR. Computed tomographic features of coronavirus disease-2019 (COVID-19) pneumonia in three groups of Iranian patients: A single center study. Radiologia (Engl Ed). 2021 Jul-Aug;63(4):314-323.

20. Lv H, Chen T, Pan Y, Wang H, Chen L, Lu Y. Pulmonary vascular enlargement on thoracic CT for diagnosis and differential diagnosis of COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Ann Transl Med.* 2020 Jul;8(14):878. doi: 10.21037/atm-20-4955.
21. Zheng Q, Lu Y, Lure F, Jaeger S, Lu P. Clinical and radiological features of novel coronavirus pneumonia. *J Xray Sci Technol.* 2020;28(3):391-404. doi: 10.3233/XST-200687.
22. Kanayama A, Tsuchihashi Y, Otomi Y, Enomoto H, Arima Y, Takahashi T, Kobayashi Y, Kaku K, Sunagawa T, Suzuki M; COVID-19 discharge summary database (CSDS) group. Association of severe COVID-19 outcomes with radiological scoring and cardiomegaly: findings from the COVID-19 inpatients database, Japan. *Jpn J Radiol.* 2022 Nov;40(11):1138- 1147. doi: 10.1007/s11604-022-01300-2. Epub 2022 Jul 26.
23. Zheng Y, Wang L, Ben S. Meta-analysis of chest CT features of patients with COVID-19 pneumonia. *J Med Virol.* 2021 Jan;93(1):241-249. doi: 10.1002/jmv.26218. Epub 2020 Jul 11.
24. Calderón-Gerstein W, Torres-Samaniego G, Pazos-Sovero K, Calderón-Anyosa, M., Quisurco-Cárdenas, M., Dorregaray-Lizárraga V. Relationship between the severity of chest CT scan lesions, arterial oxygenation and inflammatory markers in high – altitude patients with Covid-19. *OBM Genetics.* 2023;7(2):180. Doi: 10.12873/413/10.21926/obm.genet.2302180.
25. Schiaffino S, Codari M, Cozzi A, Sardanelli F. et al. Machine Learning to Predict In-Hospital Mortality in COVID-19 Patients Using Computed

- Tomography-Derived Pulmonary and Vascular Features. *J Pers Med.* 2021 Jun 3;11(6):501. doi: 10.3390/jpm11060501.
26. Majella DM, Adaikkalam D. Computed Tomography-Chest in COVID-19 Pneumonia and cardiac failure: An Imaging Enigma. *Int J Med Rev Case Rep.* (2023); 7(6): 9-13. doi:10.5455/IJMRCR.172-1678819573
27. Çıvgın E, Parlak İS, Güneş YC, Bahadır GK, Karalezli A. Computed tomography findings in COVID-19 and atypical pneumonia: a comparative study. *J Infect Dev Ctries.* 2023 Aug 31;17(8):1063-1069. doi: 10.3855/jidc.16698.
28. Pan Y, Guan H, Zhou S et al (2020) Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan, China. *Eur Radiol.* 10.1007/s00330-020-06731-x
29. Dessie ZG, Zewotir T. Mortality-related risk factors of COVID-19: a systematic review and meta-analysis of 42 studies and 423,117 patients. *BMC Infect Dis.* 2021 Aug 21;21(1):855.doi:10.1186/s12879-021-06536-3.
30. Zeng J, Peng S, Lei Y, Huang J, Guo Y, Zhang X, Huang X, Pu H, Pan L; COVID-19 Clinical Research Collaborative Group of Sichuan Provincial People's Hospital. Clinical and Imaging features of COVID-19 Patients: Analysis of Data from High-Altitude Areas. *J Infect.* 2020 Jun;80(6):e34- e36. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.026. Epub 2020 Apr 8.
31. Yue H, Bai X, Wang J, Yu Q, Liu W, Pu J, Wang X, Hu J, Xu D, Li X, Kang N, Li L, Lu W, Feng T, Ding L, Li X, Qi X; Gansu Provincial Medical Treatment Expert Group of COVID-19. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019

- in Gansu province, China. *Ann Palliat Med.* 2020 Jul;9(4):1404-1412. doi: 10.21037/apm-20-887. Epub 2020 Jul 13.
32. Abdelsalam M, Althaqafi RMM, Assiri SA, Althagafi TM, Althagafi SM, Fouda AY, Ramadan A, Rabah M, Ahmed RM, Ibrahim ZS, Nemenqani DM, Alghamdi AN, Al Aboud D, Abdel-Moneim AS, Alsulaimani AA. Clinical and Laboratory Findings of COVID-19 in High-Altitude Inhabitants of Saudi Arabia. *Front Med (Lausanne).* 2021 May 12;8:670195. doi: 10.3389/fmed.2021.670195.
33. Inanc IH, Bursa N, Gultepe A, Bayramoğlu M, Sabanoglu C, Inanc FA. Association among CO-RADS score, co-morbid diseases, and short-term prognosis in COVID-19 infection. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2022 Jan;26(2):653-663. doi: 10.26355/eurrev_202201_27892.
34. Monge C.,C., León-Velarde, F. El reto fisiológico de vivir en los Andes. Lima : Instituto Francés de Estudios Andinos - Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2003.
35. Concha-Velasco F, Moncada-Arias AG, Antich MK, Delgado-Flores CJ, Ramírez-Escobar C, Ochoa-Linares M, Velásquez-Cuentas L, Dueñas de la Cruz H, Loyola S. Factors Associated with COVID-19 Death in a High- Altitude Peruvian Setting during the First 14 Months of the Pandemic: A Retrospective Multicenter Cohort Study in Hospitalized Patients. *Trop Med Infect Dis.* 2023 Feb 22;8(3):133. doi: 10.3390/tropicalmed 8030133.
36. Mi Y, Huang L, Liu J, Chao H, Hu W, Shan G. High-altitude resident pulmonary edema induced by SARS-CoV-2 infection in children - A case series.

Int J Infect Dis. 2023 Oct;135:118-122. doi: 10.1016/j.ijid.2023.08.015. Epub 2023 Aug 21.

37. Calderón-Gerstein W, Torres-Samaniego G, Pazos-Sovero K, Calderón-Anyosa M. External Validation and Modification of a New Score for Predicting Mortality in Patients with COVID-19 in High Altitude Patients. A Peruvian Study. OBM Genetics 2024; 8(4): 271; doi:10.21926/obm.genet.2404271.