



INFORME TÉCNICO:

Evaluación imágenes satelitales para el análisis de calidad de agua en el Lago Llanquihue

Proyecto: Aplicación e integración de tecnologías de información y nuevas herramientas biotecnológicas, para el monitoreo colaborativo de lagos, que asegure la conservación del recurso hídrico, resguarde la salud humana, animal y contribuya al desarrollo integral de la Región.
Código BIP 4018207-0

Elaborado por: Gino Sandoval V.
Marzo 2021.

Introducción

El presente informe es una parte del objetivo número cuatro del proyecto FIC Más azul: “Evaluar la utilización de la teledetección como técnica para el monitoreo de calidad de agua de cuerpos lacustres”, el cual da cuenta de la evaluación de cinco imágenes satelitales de acceso libre con el objetivo de identificar su potencialidad para el análisis de calidad de agua en el Lago Llanquihue, esta evaluación se realizó mediante la comparación de las características de las imágenes satelitales¹ y adicionalmente se efectuó un análisis de nubosidad que permitió ejemplificar la cantidad de días al año 2020 con baja nubosidad en la zona de estudio que permitirán obtener potenciales imágenes satelitales de buena calidad.

Se logró identificar una baja cantidad de días con poca a nula nubosidad, no superando el 10% para el año 2020, lo cual repercute fuertemente en la disponibilidad de escenas, ya que al tomar cuenta la resolución temporal de las imágenes comparadas, las imágenes SENTINEL 3, MODIS y VIIRS son las que potencialmente serían más adecuada para el objetivo planteado, ya que incluso los últimos tres meses del año 2020 no hay disponibilidad de imágenes Landsat 8 y solo existiría una sola imagen SENTINEL 2 con baja nubosidad.

Si bien las imágenes satelitales Landsat 8 y SENTINEL 2 tienen en comparación una mejor resolución espacial, sus características y división radiométrica son más acordes a trabajos sobre tierra, mientras lo que persigue esta evaluación se centra en la calidad de aguas en el Lago Llanquihue, además la disponibilidad de productos ya procesados y disponibles en sus respectivas plataformas webs de MODIS, VIIRS y SENTINEL 3 las coloca por sobre las imágenes Landsat 8 y SENTINEL 2.

Finalmente se recomienda que en base a las características analizadas y comparadas entre las cinco imágenes satelitales es SENTINEL 3 la que posee mayor potencialidad de utilización para el análisis de calidad de agua en el Lago Llanquihue, sobretodo por su mayor disponibilidad de escenas a lo largo de un año (teniendo en cuenta la alta nubosidad), su disponibilidad de productos procesados y resolución espacial.

¹ Las características se encuentran descritas en el “Informe de satélites comerciales y no comerciales, sensores, bandas y otros aspectos técnicos (resoluciones Temporal, Radiométrica, etc) a ser considerados en la elaboración del árbol de decisión para lograr el monitoreo de calidad del agua del Lago Llanquihue”

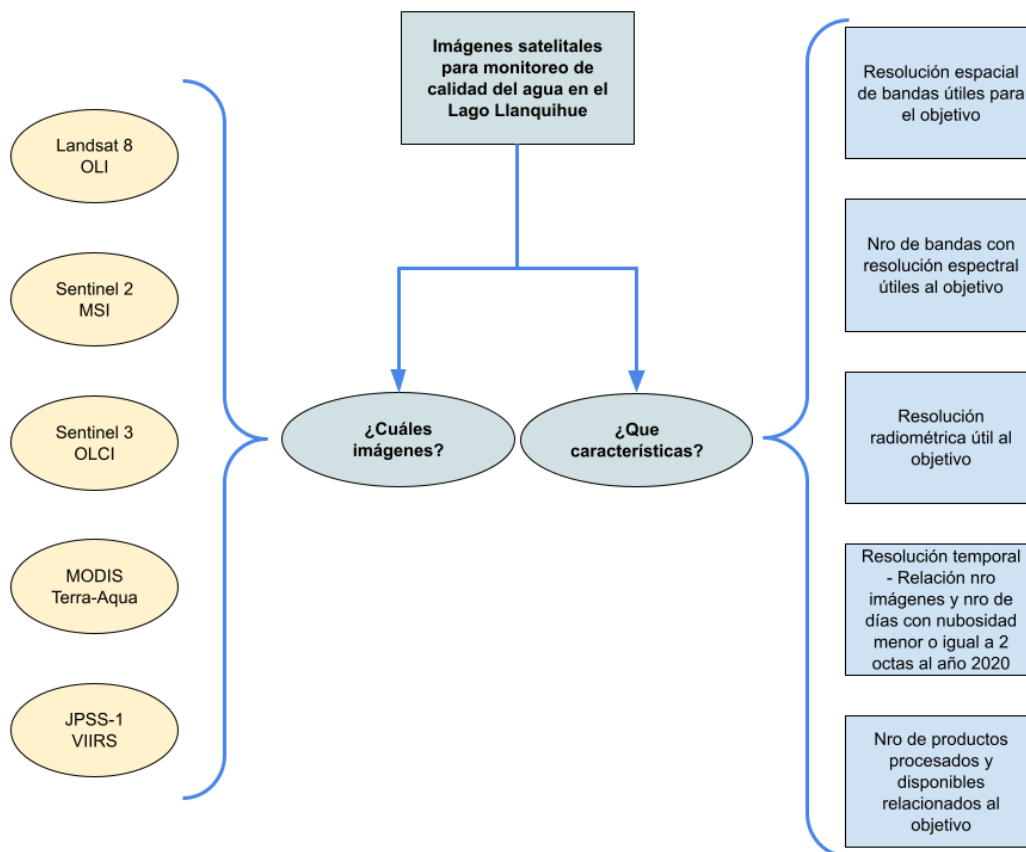
Imágenes y características a evaluar

La evaluación de imágenes satelitales para el monitoreo de calidad del agua en el Lago Llanquihue se efectuó con cinco imágenes de libre acceso, en base a sus características (figura 1) como: 1) Resolución espacial; 2) Resolución espectral; 3) Resolución radiométrica; 4) Productos procesados y disponibles en los diferentes sitios web; 5) Resolución temporal con la relación de la nubosidad presente en el área de estudio.

Las imágenes que se compararon fueron cinco todas de acceso libre, donde dos corresponden a imágenes multiespectrales de mayor resolución espacial y amplia utilización como 1) Landsat 8 de la United State Geological Service (USGS) - National Aeronautics and Space Administration (NASA); 2) SENTINEL 2 de la European Space Agency (ESA); y tres que si bien tienen menor resolución espacial, están orientadas al estudio de calidad de aguas 3) MODIS de la NASA; 4) SENTINEL 3 de la European Space Agency (ESA) y 5) JPSS-1 VIIRS de la NASA-NOAA.

De los sitios web a los cuales pertenecen los satélites anteriormente mencionados se obtuvo sus características y en el caso de la nubosidad la información se obtuvo desde Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Figura 1. Esquema general de imágenes satelitales y características a evaluar



Fuente: Elaboración propia

Análisis de nubosidad año 2020

De la red de estaciones meteorológicas existentes por parte de la DMC y DGA en las cercanías del Lago Llanquihue, se debió utilizar para este análisis preliminar de nubosidad la estación meteorológica El Tepual Puerto Montt Ap. perteneciente a la DMC, que se ubica en el Aeropuerto Tepual en la comuna de Puerto Montt a unos 16.8 Kms de la zona suroeste del Lago Llanquihue (Figura 2), siendo la única estación cercana que disponía de datos de nubosidad en la página web institucional.

Cabe señalar que estos datos son utilizados de forma referencial, para la caracterización y además de ejemplificar la alta nubosidad presente en el área de estudio. Todo esto como contexto para identificar fechas para las potenciales imágenes satelitales en el o los diferentes sitios web disponibles.

Figura 2. Ubicación estación meteorológica El Tepual Puerto Montt Ap. (410005)



Fuente: Elaboración en Google Earth Pro

La información disponible sobre nubosidad se encuentra medida en octas, las cuales proporcionan de acuerdo a Stull (2017) la fracción del cielo cubierta por nubes y entrega una asociación para las diferentes cantidades de nubes (Figura 3), éstas octas básicamente es la división del cielo a partir del punto de registro u observación en ocho partes iguales, en donde va desde cielos despejados (0 octas) a cielos totalmente nublados (8 octas), incluso ocasionalmente se utiliza el término de 9 octas para cielos oscurecidos cuando el espesor óptico de la cubierta nubosa es muy importante.

Figura 3. Cobertura de nubes medidas en octas

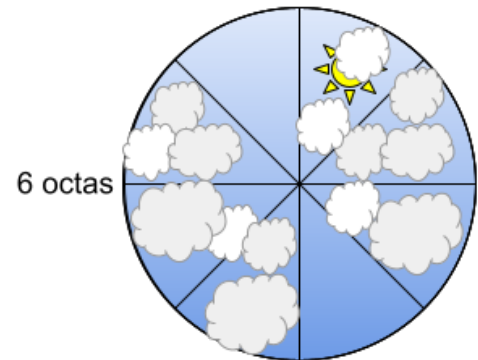
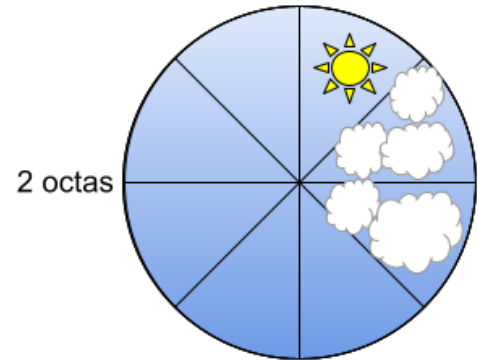
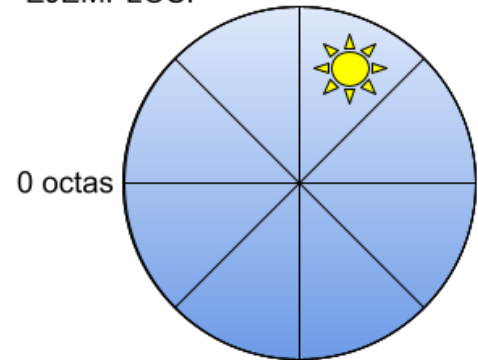
Table 6-7. Sky cover. Oktas= eighths of sky covered.				
Sky Cover (oktas)	Sym-bol	Name	Abbr.	Sky Cover (tenths)
0	○	Sky Clear	SKC	0
1	⊖	Few* Clouds	FEW*	1
2	◐			2 to 3
3	◑	Scattered	SCT	4
4	◒			5
5	◓	Broken	BKN	6
6	◔			7 to 8
7	◕			9
8	●	Overcast	OVC	10
(9)	⊗	Sky Obscured	**	un-known
(/)	◑	Not Measured		un-known

* "Few" is used for (0 oktas) < coverage ≤ (2 oktas).

** See text body for a list of abbreviations of many obscurations.

Fuente: Elaborado en base a Stull, R. (2017).

EJEMPLOS:



Para efectos del presente análisis inicialmente se consideraron los valores promedio diarios 0, 1 y 2 oktas las cuales representan cielos despejados (SKC); con pocas nubes o escasa nubosidad (FEW), lo cual permitiría pensar en cuántos días aproximadamente existe la posibilidad de encontrar imágenes satelitales utilizables para el estudio de calidad de agua en la zona del Lago Llanquihue.

De acuerdo a los registros obtenidos en la tabla 1 para el 2020 solo hubo 37 días de los 366 (año bisiesto), lo cual representa el 10,1%, en base a esto se restringe bastante los días con condiciones de escasa nubosidad (El total de días según mes se encuentra en Anexo 1), lo cual claramente traerá repercusiones al momento de evaluar la imagen satelital en base a su resolución temporal.

Se presenta un promedio de 3,1 días con 2 o menos octas por mes, pero claramente según tabla 1 se concentran los días de menor nubosidad en el periodo estival (Enero - Febrero - Marzo) con el 48,6%, lo cual deja incluso meses como junio 2020 sin días potenciales para la obtención de imágenes satelitales.

Tabla 1. Número de días con 2 o menos octas en estación meteorológica El Tepual Puerto Montt Ap. año 2020.

Mes	Nro días 2 o menos octas promedio diario	Mes	Nro días 2 o menos octas promedio diario
enero	7	julio	2
febrero	7	agosto	2
marzo	4	septiembre	1
abril	4	octubre	5
mayo	2	noviembre	1
junio	0	diciembre	2
TOTAL			37

Fuente: Elaboración en base a datos DMC, 2021.

De todas formas, a lo largo del día también pueden existir diferencias importantes en cuanto a la cubierta nubosa, es así que los últimos tres meses del 2020 a modo de ejemplificar la alta variación y nubosidad del área, es que se tomaron los datos de la DMC a las 12 UTC; 18 UTC; 00 UTC, siendo respectivamente a horario local de verano (UTC -3) a las 09:00 - 15:00 - 21:00 (Anexo 2).

De acuerdo a los datos presentados en tabla 2, a los horarios de las 12 UTC y 18 UTC que se encuentran dentro del rango de paso de los satélites, el número de días que cumplen la condición de 2 o menos octas a las 12 y 18 UTC dentro del período de 92 días, se reducen a la mitad con solo cuatro días.

Además se le agrega la disponibilidad de escenas de los satélites evaluados dentro de este periodo, imágenes como Landsat 8 no poseen escenas con 2 o menos octas, lo cual vuelve a dar cuenta de la importancia en la resolución temporal para la zona en que se encuentra el Lago Llanquihue.

Tabla 2. Relación entre nubosidad y disponibilidad de escenas en estación meteorológica El Tepual Puerto Montt Ap. año 2020.

Nro de días analizados					92
Nro de días con 2 o menos octas promedio diario					8
Nro de días con 2 o menos octas a las 12 y 18 UTC					4
	Landsat 8	Sentinel 2	Sentinel 3	MODIS	VIIRS
Nro de escenas dentro del período	6	16	92	92	92
Nro de escenas potenciales que coinciden días con 2 o menos octas a las 12 y 18 UTC	0	1	4	4	4

Fuente: Elaboración en base a datos DMC, 2021.

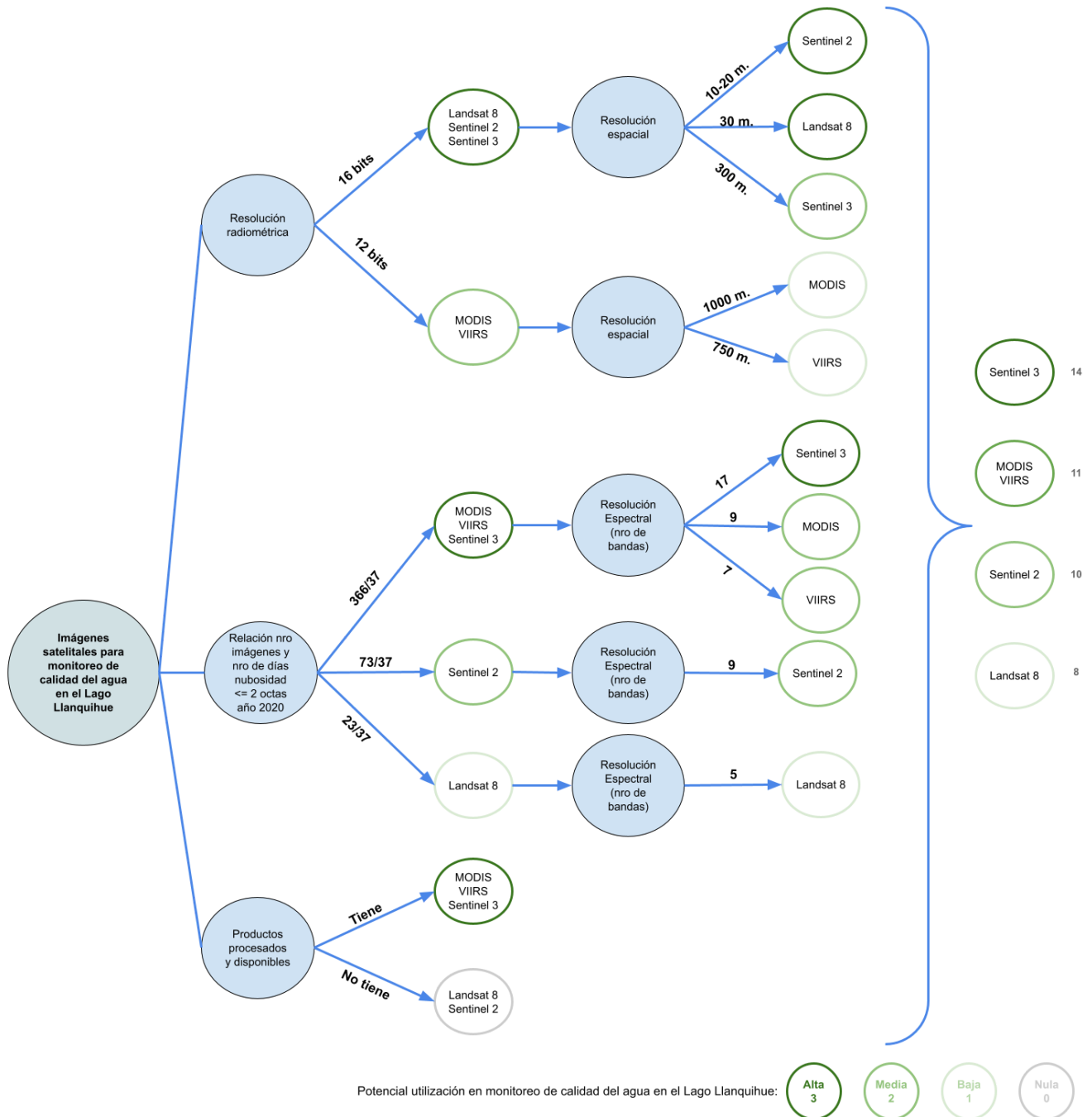
Esquemas de decisiones

Con la información sobre las características de los satélites expuesta en el “Informe de satélites comerciales y no comerciales, sensores, bandas y otros aspectos técnicos (resoluciones Temporal, Radiométrica, etc) a ser considerados en la elaboración del árbol de decisión para lograr el monitoreo de calidad del agua del Lago Llanquihue”, sumado la información disponible sobre cubierta nubosa de la DMC, se procedió a evaluar las imágenes satelitales (figura 4).

En la figura 4 se muestra la evaluación realizada mediante la asignación de una potencialidad de uso ya sea baja, media y alta según los atributos evaluados y que están en función del objetivo de evaluar la calidad de agua en el Lago Llanquihue, estos atributos se fueron hilvanando y relacionando en base a criterios propios, que permitieran ir filtrando y clasificando estos atributos para el uso propuesto.

De esta manera se realizó una representación gráfica con una serie de secuencias de los atributos evaluados que permiten generar diferentes alternativas y categorizaciones.

Figura 4. Árbol de decisiones para la evaluación de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración en base a datos USGS (2021); ESA (200-2021)); NASA (s/f); DMC (2021)

Dentro de estas secuencias resaltan varios aspectos que se detallan a continuación, si bien en cuanto a resolución radiométrica y sobretodo espacial resaltan las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2, la disponibilidad temporal es baja en el caso de Sentinel 2 y muy baja a nula (dependiendo las fechas) en Landsat 8, teniendo en cuenta los pocos días, ya antes mencionado, que el área de trabajo tiene condiciones de baja nubosidad.

Además tanto Landsat 8 y Sentinel 2 no poseen productos procesados disponibles como sí lo tienen Sentinel 3, MODIS y VIIRS, que si bien estas tres imágenes satelitales poseen una baja resolución espacial en comparación con las primeras, su alta resolución temporal las hace ser mejor candidatas a su utilización, además se agrega que tienen productos procesados relacionados con la calidad de aguas.

Sin embargo Sentinel 3, MODIS y VIIRS difieren en un elemento bastante importante como su resolución espacial, que si bien las tres son de media a baja resolución, Sentinel 3 tiene una resolución espacial de 300 metros en vez de los 750 metros que posee VIIRS o los 1000 metros de MODIS, esto para nuestra escala de trabajo es fundamental, ya que Sentinel 3 permitirá trabajar a una escala de mayor detalle en comparación de lo permite VIIRS y MODIS.

Lo explicado anteriormente se observa también al colocar el valor numérico de alta, media y baja potencialidad a cada criterio de comparación y realizar la suma de dicha puntuación (tabla 3), de esta forma se aprecia que las mayores potencialidades para el análisis de calidad de agua en el Lago Llanquihue corresponde a imágenes SENTINEL 3.

Tabla 3. Matriz de puntuación obtenida mediante la comparación de criterios

Imágen satelital	Resolución espacial	Nro de bandas con resolución espectral útiles	Resolución radiométrica	Resolución temporal con relación nro con nubosidad menor a 2 octas	Productos procesados y disponibles	Puntaje total obtenido
Landsat 8	3	1	3	1	0	8
Sentinel 2	3	2	3	2	0	10
VIIRS	1	2	2	3	3	11
MODIS	1	2	2	3	3	11
Sentinel 3	2	3	3	3	3	14

Fuente: Elaboración en base a datos DMC, 2021.

Imágenes potenciales SENTINEL 3 entre el año 2017 y 2020

Por lo tanto de acuerdo a las condiciones de nubosidad, se presenta en la Tabla 4 las fechas potenciales para la obtención y descarga de imágenes SENTINEL 3 en donde se cumple una de las tres condiciones de baja nubosidad, como 0 Octas a las 12 UTC; 2 o menos octas a las 12 UTC; y 2 o menos octas a las 12 y 18 UTC. Por supuesto cada una de ellas debe evaluarse ya que la estación meteorológica del Tepual se encuentra a 16 Km al sur del Lago Llanquihue.

En términos generales se evidencia 39 días potenciales para el año 2017; 41 días para el 2018; 49 días para el 2019; y 51 días para el 2020.

Tabla 4. imágenes potenciales SENTINEL 3 según nubosidad a las 12 y 18 UTC.

Nro	Fecha	Hota UTC 12	Hota UTC 18	Hota UTC 00	0 octas a las 12	2 o menos octas a las 12	2 o menos octas a las 12 y 18 UTC
1	5-Ene-2017	1	7	0	NO	SI	NO
2	21-Ene-2017	2	4	4	NO	SI	NO
3	22-Ene-2017	1	0	3	NO	SI	SI
4	28-Ene-2017	0	3	4	SI	SI	NO
5	29-Ene-2017	1	5	2	NO	SI	NO
6	31-Ene-2017	1	1	0	NO	SI	SI
7	8-Feb-2017	2	7	4	NO	SI	NO
8	10-Feb-2017	1	0	1	NO	SI	SI
9	13-Feb-2017	0	0	0	SI	SI	SI
10	15-Mar-2017	1	2	0	NO	SI	SI
11	20-Mar-2017	1	0	0	NO	SI	SI
12	9-Abr-2017	2	0	0	NO	SI	SI
13	11-Abr-2017	2	0	0	NO	SI	SI
14	16-Abr-2017	2	4	0	NO	SI	NO
15	17-Abr-2017	2	1	0	NO	SI	SI
16	18-Abr-2017	2	3	8	NO	SI	NO
17	23-May-2017	0	0	1	SI	SI	SI
18	4-Jul-2017	2	2	1	NO	SI	SI
19	6-Jul-2017	1	4	0	NO	SI	NO
20	7-Jul-2017	2	4	7	NO	SI	NO
21	29-Jul-2017	1	4	0	NO	SI	NO
22	30-Jul-2017	0	2	3	SI	SI	SI
23	31-Jul-2017	2	6	1	NO	SI	NO
24	4-Sep-2017	2	6	7	NO	SI	NO
25	9-Sep-2017	0	0	0	SI	SI	SI
26	14-Sep-2017	2	5	7	NO	SI	NO

27	15-Sep-2017	2	5	7	NO	SI	NO
28	26-Sep-2017	2	0	0	NO	SI	SI
29	27-Sep-2017	1	6	0	NO	SI	NO
30	18-Oct-2017	1	5	4	NO	SI	NO
31	20-Oct-2017	2	6	2	NO	SI	NO
32	21-Oct-2017	1	2	3	NO	SI	SI
33	19-Nov-2017	2	6	3	NO	SI	NO
34	20-Nov-2017	2	2	6	NO	SI	SI
35	27-Nov-2017	2	0	1	NO	SI	SI
36	3-Dic-2017	2	4	7	NO	SI	NO
37	17-Dic-2017	1	1	2	NO	SI	SI
38	23-Dic-2017	2	4	4	NO	SI	NO
39	30-Dic-2017	2	5	3	NO	SI	NO
40	5-Ene-2018	1	6	2	NO	SI	NO
41	11-Ene-2018	2	1	2	NO	SI	SI
42	23-Ene-2018	1	0	0	NO	SI	SI
43	28-Ene-2018	0	4	0	SI	SI	NO
44	29-Ene-2018	1	3	4	NO	SI	NO
45	31-Ene-2018	0	0	0	SI	SI	SI
46	11-Feb-2018	1	4	0	NO	SI	NO
47	19-Feb-2018	1	5	2	NO	SI	NO
48	20-Feb-2018	0	3	3	SI	SI	NO
49	24-Feb-2018	0	2	0	SI	SI	SI
50	6-Mar-2018	1	0	0	NO	SI	SI
51	21-Mar-2018	2	8	7	NO	SI	NO
52	24-Mar-2018	2	4	0	NO	SI	NO
53	25-Mar-2018	1	6	3	NO	SI	NO
54	26-Mar-2018	1	0	7	NO	SI	SI
55	31-Mar-2018	0	1	0	SI	SI	SI
56	6-Abr-2018	2	5	5	NO	SI	NO
57	12-Abr-2018	1	5	0	NO	SI	NO
58	23-May-2018	1	3	5	NO	SI	NO
59	3-Jun-2018	0	0	0	SI	SI	SI
60	26-Jun-2018	2	8	8	NO	SI	NO
61	2-Jul-2018	0	0	0	SI	SI	SI
62	3-Jul-2018	2	6	3	NO	SI	NO
63	9-Jul-2018	1	7	7	NO	SI	NO
64	19-Jul-2018	0	0	0	SI	SI	SI
65	20-Jul-2018	2	7	7	NO	SI	NO

66	24-Jul-2018	0	0	0	SI	SI	SI
67	19-Aug-2018	2	0	0	NO	SI	SI
68	31-Aug-2018	2	4	0	NO	SI	NO
69	8-Sep-2018	0	0	0	SI	SI	SI
70	18-Oct-2018	1	5	8	NO	SI	NO
71	20-Oct-2018	2	7	5	NO	SI	NO
72	22-Oct-2018	0	1	0	SI	SI	SI
73	6-Nov-2018	0	0	0	SI	SI	SI
74	23-Nov-2018	0	5	2	SI	SI	NO
75	25-Nov-2018	0	1	0	SI	SI	SI
76	30-Nov-2018	2	1	1	NO	SI	SI
77	1-Dic-2018	2	0	0	NO	SI	SI
78	2-Dic-2018	2	0	0	NO	SI	SI
79	7-Dic-2018	0	0	1	SI	SI	SI
80	23-Dic-2018	1	2	3	NO	SI	SI
81	2-Ene-2019	1	6	7	NO	SI	NO
82	10-Ene-2019	0	0	0	SI	SI	SI
83	21-Ene-2019	2	5	1	NO	SI	NO
84	23-Ene-2019	0	0	0	SI	SI	SI
85	24-Ene-2019	1	5	5	NO	SI	NO
86	26-Ene-2019	1	0	0	NO	SI	SI
87	30-Ene-2019	0	6	1	SI	SI	NO
88	31-Ene-2019	0	5	6	SI	SI	NO
89	1-Feb-2019	1	0	0	NO	SI	SI
90	2-Feb-2019	1	0	0	NO	SI	SI
91	3-Feb-2019	0	0	0	SI	SI	SI
92	4-Feb-2019	0	0	0	SI	SI	SI
93	11-Feb-2019	1	0	0	NO	SI	SI
94	12-Feb-2019	0		0	SI	SI	NO
95	13-Feb-2019	0	0	3	SI	SI	SI
96	16-Feb-2019	1	1	0	NO	SI	SI
97	8-Mar-2019	2	0	0	NO	SI	SI
98	10-Mar-2019	0	0	0	SI	SI	SI
99	19-Mar-2019	1	5	8	NO	SI	NO
100	20-Mar-2019	0	3	8	SI	SI	NO
101	27-Mar-2019	0	0	0	SI	SI	SI
102	15-Abr-2019	2	3	5	NO	SI	NO
103	20-May-2019	2	3	0	NO	SI	NO
104	11-Jun-2019	2	2	5	NO	SI	SI

105	15-Jun-2019	2	0	0	NO	SI	SI
106	16-Jun-2019	2	5	8	NO	SI	NO
107	17-Jun-2019	2	3	5	NO	SI	NO
108	28-Jun-2019	0	2	0	SI	SI	SI
109	29-Jun-2019	2	2	8	NO	SI	SI
110	18-Jul-2019	1	7	8	NO	SI	NO
111	15-Aug-2019	0	7	8	SI	SI	NO
112	3-Sep-2019	0	0	0	SI	SI	SI
113	4-Sep-2019	0	0	3	SI	SI	SI
114	11-Sep-2019	0	6	8	SI	SI	NO
115	22-Sep-2019	2	3	0	NO	SI	NO
116	1-Oct-2019	0	7	3	SI	SI	NO
117	2-Oct-2019	0	2	0	SI	SI	SI
118	3-Oct-2019	0	4	0	SI	SI	NO
119	14-Oct-2019	0	5	8	SI	SI	NO
120	7-Nov-2019	2	7	0	NO	SI	NO
121	10-Nov-2019	2	5	7	NO	SI	NO
122	20-Nov-2019	0	3	0	SI	SI	NO
123	21-Nov-2019	0	5	3	SI	SI	NO
124	24-Nov-2019	2	3	5	NO	SI	NO
125	20-Dic-2019	1	5	3	NO	SI	NO
126	21-Dic-2019	0	3	1	SI	SI	NO
127	22-Dic-2019	2	7	8	NO	SI	NO
128	29-Dic-2019	0	0	4	SI	SI	SI
129	30-Dic-2019	1	2	0	NO	SI	SI
130	1-Ene-2020	1	4	5	NO	SI	NO
131	2-Ene-2020	0	0	0	SI	SI	SI
132	4-Ene-2020	2	6	5	NO	SI	NO
133	11-Ene-2020	2	1	0	NO	SI	SI
134	15-Ene-2020	1	6	7	NO	SI	NO
135	21-Ene-2020	1	0	0	NO	SI	SI
136	22-Ene-2020	2	4	3	NO	SI	NO
137	27-Ene-2020	2	8	8	NO	SI	NO
138	29-Ene-2020	2	0	0	NO	SI	SI
139	6-Feb-2020	2	3	0	NO	SI	NO
140	7-Feb-2020	2	1	0	NO	SI	SI
141	8-Feb-2020	0	0	1	SI	SI	SI
142	9-Feb-2020	0	4	5	SI	SI	NO
143	19-Feb-2020	2	2	3	NO	SI	SI

144	20-Feb-2020	0	0	0	SI	SI	SI
145	21-Feb-2020	0	0	0	SI	SI	SI
146	22-Feb-2020	0	0	0	SI	SI	SI
147	29-Feb-2020	2	0	0	NO	SI	SI
148	1-Mar-2020	0	0	0	SI	SI	SI
149	19-Mar-2020	0	3	8	SI	SI	NO
150	26-Mar-2020	2	0	4	NO	SI	SI
151	30-Mar-2020	0	0	0	SI	SI	SI
152	2-Abr-2020	0	0	0	SI	SI	SI
153	6-Abr-2020	2	0	0	NO	SI	SI
154	8-Abr-2020	0	0	0	SI	SI	SI
155	17-May-2020	0	7	8	SI	SI	NO
156	21-May-2020	0	2	0	SI	SI	SI
157	25-May-2020	2	0	0	NO	SI	SI
158	27-May-2020	2	5	6	NO	SI	NO
159	30-May-2020	2	5	2	NO	SI	NO
160	21-Jun-2020	2	8	8	NO	SI	NO
161	24-Jun-2020	2	3	8	NO	SI	NO
162	6-Jul-2020	0	0	0	SI	SI	SI
163	13-Jul-2020	1	3	5	NO	SI	NO
164	23-Jul-2020	2	0	3	NO	SI	SI
165	19-Aug-2020	0	3	0	SI	SI	NO
166	31-Aug-2020	2	1	0	NO	SI	SI
167	5-Sep-2020	2	4	3	NO	SI	NO
168	14-Sep-2020	0	2	8	SI	SI	SI
169	3-Oct-2020	0	5	8	SI	SI	NO
170	20-Oct-2020	2	0	0	NO	SI	SI
171	21-Oct-2020	2	4	0	NO	SI	NO
172	22-Oct-2020	0	0	0	SI	SI	SI
173	4-Nov-2020	2	7	8	NO	SI	NO
174	15-Nov-2020	2	1	5	NO	SI	SI
175	18-Nov-2020	0	0	0	SI	SI	SI
176	19-Nov-2020	2	5	4	NO	SI	NO
177	29-Nov-2020	2	6	0	NO	SI	NO
178	9-Dic-2020	2	4	7	NO	SI	NO
179	15-Dic-2020	1	4	5	NO	SI	NO
180	22-Dic-2020	2	8	3	NO	SI	NO
181	31-Dic-2020	0	6	0	SI	SI	NO

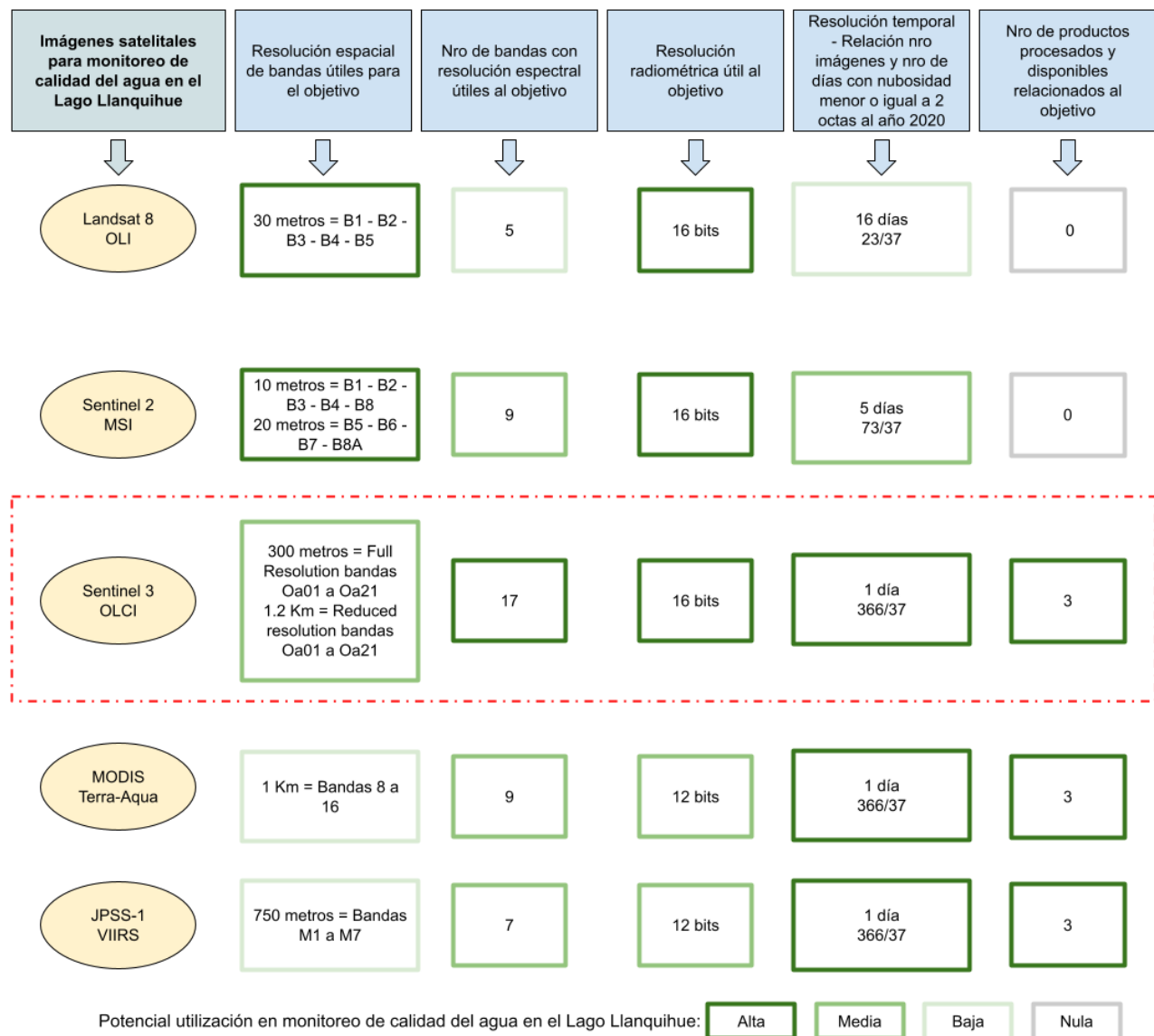
Fuente: Elaboración en base a datos DMC, 2021.

Recomendaciones

En síntesis al realizar esta comparación gráfica permite recomendar en base a los atributos y sobretodo a la cubierta nubosa de la zona de estudio, de trabajar el monitoreo de calidad de aguas mediante imágenes satelitales para el Lago Llanquihue con imágenes SENTINEL 3 en primer lugar y opcionalmente imágenes MODIS o VIIRS, dadas su resolución temporal, productos procesados y resolución espacial (figura 4).

En cuanto a imágenes satelitales SENTINEL 2 resulta menos recomendable debido a su menor resolución temporal y consecuentemente oportunidad de encontrar imágenes con baja a nula nubosidad en el área. En base a esto último es que se recomienda descartar la potencial utilización de Landsat 8.

Figura 4. Esquema síntesis de evaluación de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración en base a datos USGS (2021); ESA (200-2021); NASA (s/f); DMC (2021)

Referencias

Dirección Meteorológica de Chile (DMC). 2021. Productos Climatológicos - Cielo Cubierto. Recuperado de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

European Space Agency (ESA). 2000-2021. Sentinel Online. Recuperado de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>

National Aeronautics and Space Administration (NASA). s/f. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Recuperado de <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

Stull, R. (2017). "Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science" -version 1.02b. Univ. of British Columbia. 940 pages. isbn 978-0-88865-283-6. Recuperado de https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/

United States Geological Survey (USGS). 2021. Landsat 8 band designations. Recuperado de <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations>

Anexos

Anexo 1. Promedio diario de octas año 2020

DÍA	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	3.3	4.0	0.0	2.3	6.7	8.0	8.0	7.0	2.7	7.7	2.3	7.3
2	0.0	5.0	3.7	0.0	7.0	4.7	8.0	5.7	7.7	3.7	7.0	5.7
3	6.7	6.0	4.0	7.7	6.7	3.7	7.3	5.7	5.7	4.3	6.0	2.7
4	4.3	6.0	3.3	4.7	6.7	6.7	6.7	6.3	5.3	7.3	5.7	2.3
5	6.7	4.7	5.3	4.7	3.3	7.7	6.3	5.7	3.0	7.7	6.0	4.3
6	8.0	1.7	7.7	0.7	2.7	5.7	0.0	4.0	2.7	5.7	2.7	4.0
7	7.7	1.0	4.3	1.0	5.0	5.7	7.3	7.7	6.3	8.0	3.7	5.7
8	6.7	0.3	4.7	0.0	8.0	4.7	6.7	8.0	5.3	8.0	3.3	4.0
9	7.3	3.0	3.3	5.0	6.7	8.0	8.0	7.0	7.3	6.3	3.0	4.3
10	7.0	2.7	6.0	8.0	6.3	8.0	6.7	4.3	6.3	5.7	3.0	7.0
11	1.0	3.7	5.3	4.0	5.3	6.7	7.0	7.0	7.0	1.3	6.7	8.0
12	3.7	5.3	4.7	6.0	7.3	5.7	4.7	8.0	6.7	3.3	5.7	5.7
13	7.0	4.7	4.7	5.7	7.0	7.7	3.0	8.0	4.0	6.0	7.0	7.7
14	6.7	6.3	1.7	7.0	8.0	7.0	8.0	6.7	3.3	2.0	3.7	7.0
15	4.7	7.3	2.7	8.0	8.0	7.7	8.0	6.7	5.0	3.7	2.7	3.3
16	1.7	8.0	7.7	8.0	7.3	7.0	7.0	7.3	8.0	2.7	3.0	4.0
17	1.7	4.3	3.0	8.0	5.0	7.0	7.0	8.0	8.0	7.0	5.3	3.0
18	2.7	7.7	3.7	7.0	8.0	7.7	7.3	4.7	5.3	7.3	0.0	5.7
19	2.7	2.3	3.7	5.7	7.0	6.3	6.7	1.0	1.0	3.7	3.7	7.3

20	1.3	0.0	6.0	4.0	2.3	6.3	6.0	5.0	3.7	0.7	8.0	6.0
21	0.3	0.0	7.3	3.3	0.7	6.0	6.3	6.7	7.0	2.0	7.7	1.3
22	3.0	0.0	7.7	5.7	4.7	6.3	4.3	5.3	4.7	0.0	7.3	4.3
23	4.0	7.7	8.0	8.0	8.0	5.7	1.7	8.0	5.0	7.3	8.0	6.7
24	7.0	7.3	4.3	7.3	4.3	4.3	8.0	8.0	3.0	4.7	6.7	8.0
25	8.0	5.7	2.7	7.3	0.7	7.3	8.0	8.0	4.3	6.7	4.7	6.0
26	5.0	5.0	2.0	5.7	5.3	8.0	4.3	8.0	7.7	8.0	5.7	3.3
27	6.0	6.3	7.7	6.3	4.3	8.0	6.3	7.7	7.7	7.7	8.0	7.7
28	6.7	3.7	5.0	3.7	6.3	6.7	4.7	4.7	7.0	4.7	7.7	6.3
29	0.7	0.7	2.7	5.7	3.0	5.0	4.3	5.0	7.7	3.7	2.7	6.7
30	7.0		0.0	6.7	3.0	7.7	7.0	4.3	6.3	3.0	3.7	7.3
31	5.3		6.3		6.3		7.7	1.0		2.7		2.0
Nro días 2 o menos octas	7	7	4	4	2	0	2	2	1	5	1	2

Fuente: DMC, 2021.

Anexo 2. Nubosidad diaria a las 12 - 18 - 00 horas UTC de octas Octubre a Diciembre 2020

Fecha	Día	Hora UTC 12	Hora UTC 18	Hora UTC 00	Media climatológica	Media aritmética	Datos
1-Oct-2020	1	8	7	8	7.7	7.4	24
2-Oct-2020	2	8	3	0	3.7	5.7	24
3-Oct-2020	3	0	5	8	4.3	1.7	24
4-Oct-2020	4	7	7	8	7.3	5.4	24
5-Oct-2020	5	8	7	8	7.7	7.5	24
6-Oct-2020	6	8	7	2	5.7	7.1	24
7-Oct-2020	7	8	8	8	8	6.6	24
8-Oct-2020	8	8	8	8	8	8	24
9-Oct-2020	9	6	5	8	6.3	7.2	24
10-Oct-2020	10	5	6	6	5.7	6.3	24
11-Oct-2020	11	4	0	0	1.3	3.3	24
12-Oct-2020	12	7	3	0	3.3	2.8	24
13-Oct-2020	13	7	8	3	6	5.2	24
14-Oct-2020	14	3	3	0	2	2.5	24
15-Oct-2020	15	8	3	0	3.7	2	24
16-Oct-2020	16	8	0	0	2.7	2.7	24
17-Oct-2020	17	8	8	5	7	6.8	24
18-Oct-2020	18	8	6	8	7.3	7.2	24
19-Oct-2020	19	4	5	2	3.7	5.7	24

20-Oct-2020	20	2	0	0	0.7	1.4	24
21-Oct-2020	21	2	4	0	2	1.5	24
22-Oct-2020	22	0	0	0	0	0.6	24
23-Oct-2020	23	6	8	8	7.3	4.7	24
24-Oct-2020	24	7	4	3	4.7	7.1	24
25-Oct-2020	25	7	7	6	6.7	6.2	24
26-Oct-2020	26	8	8	8	8	7.6	24
27-Oct-2020	27	7	8	8	7.7	6.5	24
28-Oct-2020	28	5	8	1	4.7	7	24
29-Oct-2020	29	7	2	2	3.7	2.7	24
30-Oct-2020	30	8	1	0	3	3.7	24
31-Oct-2020	31	8	0	0	2.7	2	24
1-Nov-2020	1	3	4	0	2.3	1.6	24
2-Nov-2020	2	8	8	5	7	6.2	24
3-Nov-2020	3	7	3	8	6	4.7	24
4-Nov-2020	4	2	7	8	5.7	6.5	24
5-Nov-2020	5	8	8	2	6	7.4	24
6-Nov-2020	6	6	2	0	2.7	2.9	23
7-Nov-2020	7	8	1	2	3.7	3.6	24
8-Nov-2020	8	7	3	0	3.3	2.8	24
9-Nov-2020	9	8	1	0	3	5.4	24
10-Nov-2020	10	8	1	0	3	4.5	24
11-Nov-2020	11	8	7	5	6.7	5.8	24
12-Nov-2020	12	3	7	7	5.7	4.8	24
13-Nov-2020	13	8	8	5	7	7	24
14-Nov-2020	14	4	7	0	3.7	6	24
15-Nov-2020	15	2	1	5	2.7	1.8	24
16-Nov-2020	16	5	4	0	3	4.5	24
17-Nov-2020	17	8	4	4	5.3	4.8	24
18-Nov-2020	18	0	0	0	0	0.2	24
19-Nov-2020	19	2	5	4	3.7	1.7	24
20-Nov-2020	20	8	8	8	8	7.7	24
21-Nov-2020	21	8	8	7	7.7	8	24
22-Nov-2020	22	8	6	8	7.3	7.3	24
23-Nov-2020	23	8	8	8	8	7.8	24
24-Nov-2020	24	6	7	7	6.7	6.9	24
25-Nov-2020	25	5	5	4	4.7	6	24
26-Nov-2020	26	7	5	5	5.7	6.6	24
27-Nov-2020	27	8	8	8	8	6.4	24

28-Nov-2020	28	8	8	7	7.7	7.9	24
29-Nov-2020	29	2	6	0	2.7	4.8	24
30-Nov-2020	30	4	2	5	3.7	1.8	24
1-Dic-2020	1	6	8	8	7.3	6.5	24
2-Dic-2020	2	6	6	5	5.7	7	24
3-Dic-2020	3	4	4	0	2.7	4.2	24
4-Dic-2020	4	7	0	0	2.3	2.1	24
5-Dic-2020	5	8	0	5	4.3	2.3	24
6-Dic-2020	6	8	2	2	4	3.3	24
7-Dic-2020	7	7	3	7	5.7	4.2	24
8-Dic-2020	8	6	6	0	4	5.7	24
9-Dic-2020	9	2	4	7	4.3	3	24
10-Dic-2020	10	8	7	6	7	6	24
11-Dic-2020	11	8	8	8	8	7.2	24
12-Dic-2020	12	8	7	2	5.7	7.2	24
13-Dic-2020	13	8	7	8	7.7	6.2	24
14-Dic-2020	14	8	7	6	7	7.7	24
15-Dic-2020	15	1	4	5	3.3	5.2	24
16-Dic-2020	16	7	1	4	4	3.1	24
17-Dic-2020	17	3	3	3	3	2.6	24
18-Dic-2020	18	4	7	6	5.7	5	24
19-Dic-2020	19	8	8	6	7.3	7.5	24
20-Dic-2020	20	7	7	4	6	6.4	24
21-Dic-2020	21	3	0	1	1.3	3.5	24
22-Dic-2020	22	2	8	3	4.3	3.7	24
23-Dic-2020	23	7	7	6	6.7	5.2	24
24-Dic-2020	24	8	8	8	8	7.3	24
25-Dic-2020	25	8	7	3	6	7.1	24
26-Dic-2020	26	8	2	0	3.3	5.2	24
27-Dic-2020	27	8	8	7	7.7	7.5	24
28-Dic-2020	28	8	7	4	6.3	6.8	24
29-Dic-2020	29	8	7	5	6.7	5.8	24
30-Dic-2020	30	7	7	8	7.3	6.3	24
31-Dic-2020	31	0	6	0	2	6	24

Fuente: Elaboración en base a datos DMC, 2021.