

---

**INFORME TÉCNICO**  
**GRUPO DE TRABAJO CONTROL Y SEGUIMIENTO**  
**UPM II**

Estimación de concentración de clorofila-a con imágenes satelitales para el período enero - abril 2023, en el tramo del río Negro comprendido entre las represas de Rincón del Bonete y de Baygorria.

---

## INTRODUCCIÓN

El análisis de imágenes satelitales, base para el desarrollo de este informe, es una herramienta de monitoreo ampliamente reconocida por la comunidad científica internacional. Desde un punto de vista complementario a los enfoques de monitoreo tradicionales, permite registrar variaciones espacio temporales en sistemas acuáticos completos, a la vez que reduce los esfuerzos en términos de costo y tiempo.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar los niveles de concentración de clorofila-a en el tramo del río Negro comprendido entre la represa de Baygorria y la represa de Bonete, para el período comprendido entre enero y abril de 2023. La clorofila-a es el pigmento común a todos los organismos productores primarios y tiene relación directa con la productividad primaria y el desarrollo vegetal, por lo que es utilizado como un indicador indirecto de la biomasa algal en los sistemas acuáticos.

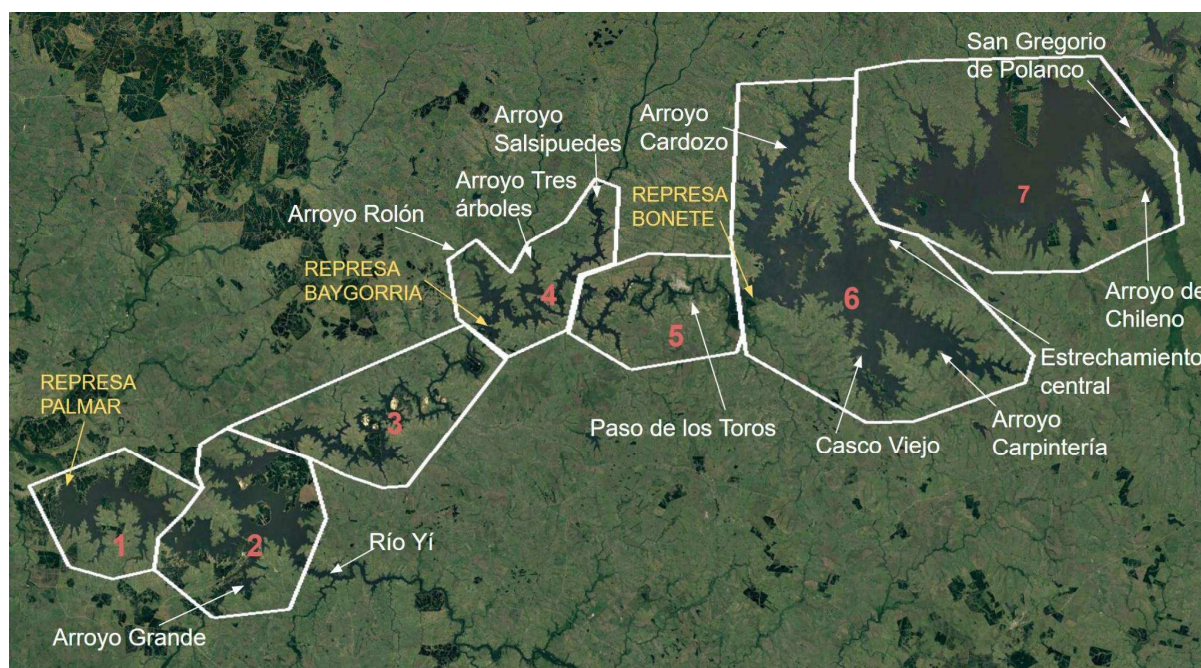
Las fuentes de datos utilizadas son imágenes satelitales Sentinel 2, con un tamaño de píxel de 10 metros, acceso libre y gratuito. A partir de estas imágenes se estiman concentraciones de clorofila-a en base al desarrollo de algoritmos locales adaptados a la dinámica del río Negro. A continuación se presenta el análisis desarrollado para los distintos sectores del río en consideración, con base en cálculos geo-estadísticos aplicados sobre las imágenes satelitales.

## ANÁLISIS

Los cálculos geo-estadísticos presentados a continuación se realizaron teniendo en cuenta dos escalas de análisis. El primer análisis considera zonas de escala intermedia (figura 1), en base a una selección de las zonas presentadas en el documento elaborado como línea de base elaborado para el proyecto UPM II y datos publicados en el Observatorio Ambiental Nacional. El segundo nivel de análisis se refiere a una escala de análisis local (figura 3), definidas durante el proceso que culminó en la AAO del proyecto UPM II, considerando sectores más pequeños entre la represa de Baygorria y la represa de Bonete. En ambos casos se presenta una figura ilustrativa de la concentración promedio de clorofila-a durante los meses analizados y una tabla con los cálculos de la mediana de clorofila-a estimada para los percentiles de superficie 10, 50 y 90.

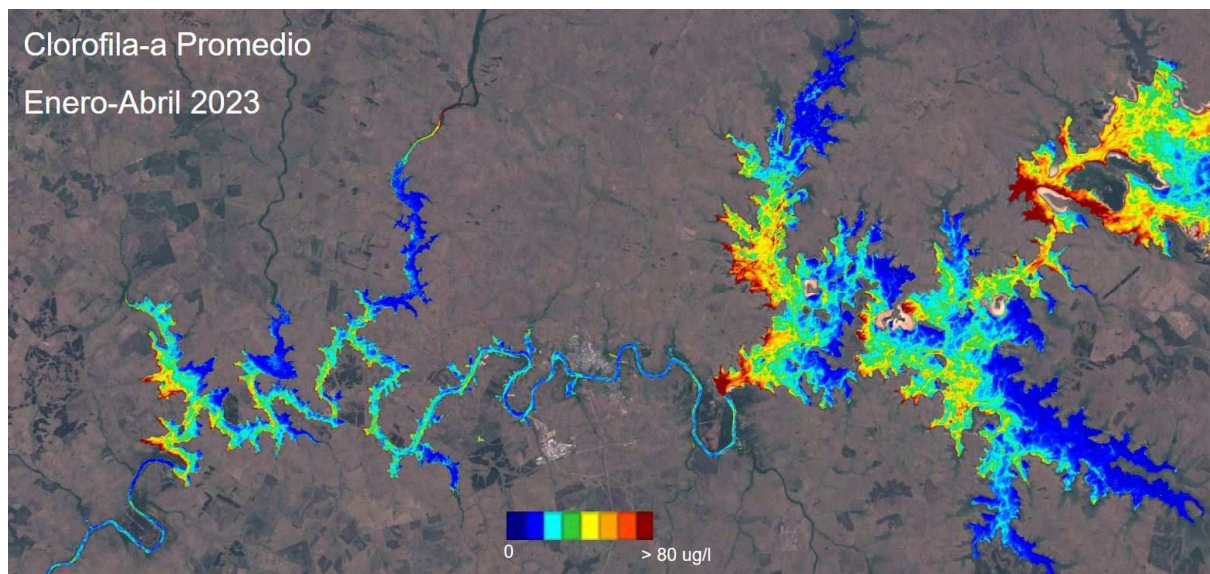
## Estimación de clorofila-a. Análisis por áreas intermedias

Un primer análisis se realiza considerando tres grandes zonas, abarcando las zonas de Baygorria, Paso de los Toros y Bonete (identificadas respectivamente como zonas 4, 5 y 6 en la figura 1).



**Figura 1:** Zonas del río Negro y localización de sitios de interés. Las áreas blancas numeradas del 1 al 7 representan las zonas intermedias en las que se divide el río Negro a los efectos de cálculos estadísticos. Para este informe se presentan datos (ver tabla 1) para las zonas cercanas a UPM II (zonas 4, 5 y 6).

En la siguiente imagen (figura 2) se muestran los promedios de concentración de clorofila-a durante los cuatro meses en estudio (enero, febrero, marzo y abril de 2023), para una zona ampliada que incluye el embalse de Baygorria en su totalidad y la parte del embalse de Bonete ubicada al oeste del estrechamiento central de ese embalse. Presentados en una misma escala de colores, los tonos azules oscuros se corresponden con niveles bajos de clorofila-a (menores a 10 ug/l), tonos cian y amarillo con niveles intermedios (entre 25 y 50 ug/l), y tonalidades naranjas y rojas asociadas a concentraciones mayores a los 75 ug/l (niveles hipereutróficos). En la figura 2 se visualiza el promedio de clorofila-a en cada sitio, resultado del procesamiento de 13 imágenes Sentinel 2 con un porcentaje de nubes menor al 25%.



**Figura 2:** Estimación satelital de clorofila-a, en escala de colores de 0 a 80 ug/l. Se visualizan los promedios de concentración de clorofila-a, estimados sobre imágenes satelitales Sentinel 2 para los cuatro meses entre enero y abril de 2023 en los embalses de Baygorria y Bonete.

En la visualización de los promedios de clorofila-a (figura 2) se destacan altas concentraciones para las zonas cercanas a las represas, lo que implica la ocurrencia de eventos de floraciones algales con valores de concentración puntualmente muy altos para alguno de los días comprendidos en el período enero-abril 2023.

Esta incidencia de eventos con valores de concentración de clorofila-a puntualmente muy altos se refleja en el análisis de las medianas resultantes de considerar para todas las imágenes disponibles el valor de clorofila-a para el percentil 90 de la superficie (tabla 1), la cual fue más alta para la zona de Bonete, seguida de Baygorria, y con menor magnitud en Paso de los Toros (zonas 6, 5 y 4 respectivamente, según figura 1).

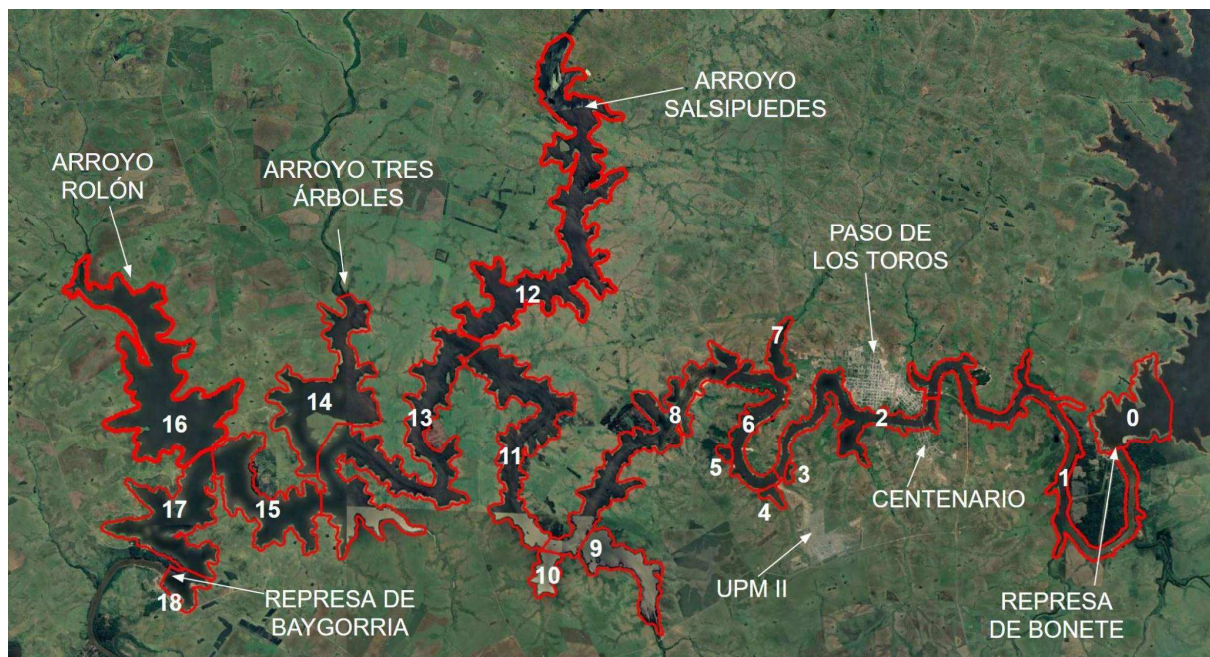
**Tabla 1:** Mediana de clorofila-a estimada para percentiles 10, 50 y 90 de la superficie en 3 zonas del río Negro. Período: enero-abril 2023.

ZONA	PERCENTIL 10	PERCENTIL 50	PERCENTIL 90
BONETE (6)	5,2	9,5	36,1
PASO DE LOS TOROS (5)	5,6	9,8	26,7
BAYGORRIA (4)	6,5	11,3	29,0

Por su parte, el análisis de las medianas de clorofila-a para los percentiles 10 y 50 constata un aumento gradual de las concentraciones de clorofila-a desde la zona de Bonete hacia Baygorria.

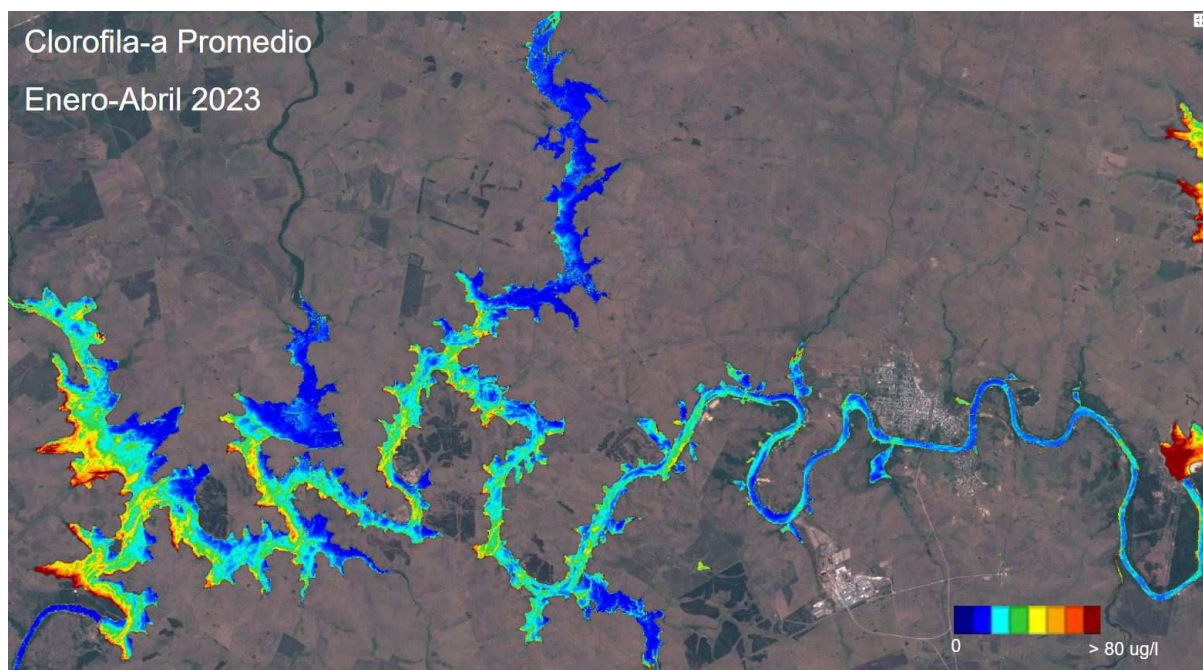
### Estimación de clorofila-a. Análisis por áreas locales

En una lógica similar a lo presentado anteriormente, a continuación se desarrolla un análisis para sectores más pequeños en el tramo Baygorria-Bonete. En este sentido se subdividió la zona en 19 áreas, considerando las subcuencas hidrográficas y otros elementos que hacen a la dinámica del curso de agua. De esta manera, en la figura 3 es posible identificar dos sectores cercanos a los embalses (0 y 18), ocho sectores sobre el cauce principal del río Negro (1, 2, 6, 8, 11, 13, 15, 17), seis sectores en áreas de pequeñas bahías o remansos (3, 4, 5, 7, 9, 10) y 3 sectores correspondientes a los tres tributarios más importantes en el tramo analizado (12, 14, 16).



**Figura 3:** Sectores del río Negro y sitios de interés. Las áreas rojas numeradas del 0 al 18 representan los sectores locales para los que se realizan los cálculos presentados en la tabla 2.

La figura 4 es una ampliación de lo ya presentado en la figura 2, visualizando los promedios de concentración de clorofila-a durante los cuatro meses en estudio (enero, febrero, marzo y abril de 2023), con foco en las zonas del embalse de Baygorria y parte de la zona más cercana a la represa de Bonete.



**Figura 4:** Estimación satelital de clorofila-a, en escala de colores de 0 a 80 ug/l. Se visualizan los promedios de concentración de clorofila-a, estimados sobre imágenes satelitales Sentinel 2, para los cuatro meses entre enero y abril de 2023 en el embalse de Baygorria y el sector cercano a la represa de Bonete.

Para el análisis de las medianas en el período enero-abril 2023 a esta escala de mayor detalle se utilizaron 10 imágenes Sentinel 2, tomando un primer criterio base de cobertura de nubes hasta el 25% para toda la zona y descartando imágenes donde el efecto sombra de nubes disminuye la calidad de las estimaciones en la mayoría de los sectores. En el análisis de las medianas estacionales de clorofila-a para los percentiles 10, 50 y 90 de la superficie de cada sector (tablas 2 y 3), si bien puede notarse cierta tendencia a la disminución en las concentraciones de clorofila-a conforme se avanza hacia el oeste, esta observación no es lineal en todo el tramo del río presentando un claro aumento de las concentraciones en los sectores próximos a la represa de Baygorria.

**Tabla 2:** Mediana de clorofila-a estimada para percentiles 10, 50 y 90 de la superficie en 19 sectores del río Negro, entre la represa de Bonete y la represa de Baygorria. Sectores ordenados de este a oeste (0 a 18). Período: enero-abril 2023.

SECTOR	PERCENTIL 10	PERCENTIL 50	PERCENTIL 90
REPRESA BONETE (0)	13,4	41,0	109,2
CAUCE PRINCIPAL-SALIDA BONETE (1)	10,6	17,9	32,9
CAUCE PRINCIPAL-	9,3	15,1	31,3

SALIDA PASO DE LOS TOROS (2)			
REMANSO 1 (3)	8,2	12,3	20,4
REMANSO 2 (4)	8,6	13,2	22,9
REMANSO 3 (5)	11,1	14,4	27,1
CAUCE PRINCIPAL-SALIDA UPM II (6)	8,1	14,0	28,6
REMANSO 4 (7)	6,7	9,2	23,6
CAUCE PRINCIPAL (8)	5,7	9,5	17,1
REMANSO 5 (9)	5,3	7,5	20,5
REMANSO 6 (10)	7,3	12,0	22,4
CAUCE PRINCIPAL (11)	6,4	9,5	18,6
SALSIPUEDES (12)	5,7	9,1	17,5
CAUCE PRINCIPAL (13)	6,9	14,0	29,2
TRES ÁRBOLES (14)	6,6	9,4	21,2
CAUCE PRINCIPAL (15)	7,5	12,8	25,9
ROLÓN (16)	6,6	13,7	81,4
CAUCE PRINCIPAL (17)	9,9	20,4	68,0
REPRESA BAYGORRIA (18)	12,3	23,2	55,4

En cambio es posible identificar patrones más claros en las concentraciones de clorofila-a según el tipo de sector analizado (tabla 3), a saber: sectores cercanos a represas, sectores del cauce principal, sectores de remansos y sectores de tributarios principales.

De los sectores cercanos a las represas, en el próximo a Bonete son claramente mayores los niveles de concentración de clorofila-a para todos los percentiles en comparación con el sector próximo a Baygorria (ver tabla 3).

Considerando los sectores del cauce principal, se visualizan dos tramos diferentes. En términos generales se aprecia una disminución (para todos los percentiles) desde el sector ubicado más hacia el este (sector 1), en la salida de la represa de Bonete, hasta el sector 8, al este del arroyo Salsipuedes. A partir del sector 11 y hasta el 17 las concentraciones de clorofila-a tienden a aumentar, situación que podría estar

relacionada con el aporte de clorofila-a que reciben estos sectores del río por parte de los principales tributarios (sectores 12, 14 y 16) y de dos de los tributarios menores (sectores 9 y 10, al sur).

En relación a los tributarios principales, se nota en ellos niveles de concentración de clorofila-a intermedios, siendo el arroyo Rolón (sector 16) el que presenta valores más altos para los tres percentiles de superficie.

Por último, al considerar los sectores de remansos es posible identificar un primer grupo de tres sectores (3, 4 y 5) cercanos a UPM II, donde los valores tienden a aumentar conforme se avanza aguas abajo. El segundo grupo de sectores de remanso queda conformado por los sectores 7, 9 y 10, que presentan valores de percentiles inferiores, siendo particularmente bajos los valores del sector 9. Las diferencias de estos remansos (7, 9 y 10) con el resto de los de su tipo podrían explicarse principalmente por su mayor extensión y por el aporte de los tributarios menores que los conforman.

**Tabla 3:** Mediana de clorofila-a estimada para percentiles 10, 50 y 90 de la superficie en 19 sectores del río Negro, entre la represa de Bonete y la represa de Baygorria. Sectores ordenados de este a oeste y por tipo de tramo seleccionado. Se colorean según comportamientos diferenciales de concentración de clorofila-a. Período: enero-abril 2023.

SECTOR	PERCENTIL 10	PERCENTIL 50	PERCENTIL 90
REPRESA BONETE (0)	13,4	41,0	109,2
REPRESA BAYGORRIA (18)	12,3	23,2	55,4
CAUCE PRINCIPAL-SALIDA BONETE (1)	10,6	17,9	32,9
CAUCE PRINCIPAL-SALIDA PASO DE LOS TOROS (2)	9,3	15,1	31,3
CAUCE PRINCIPAL-SALIDA UPM II (6)	8,1	14,0	28,6
CAUCE PRINCIPAL (8)	5,7	9,5	17,1
CAUCE PRINCIPAL (11)	6,4	9,5	18,6
CAUCE PRINCIPAL (13)	6,9	14,0	29,2
CAUCE PRINCIPAL (15)	7,5	12,8	25,9
CAUCE PRINCIPAL (17)	9,9	20,4	68,0
REMANSO 1 (3)	8,2	12,3	20,4



---

REMANSO 2 (4)	8,6	13,2	22,9
REMANSO 3 (5)	11,1	14,4	27,1
REMANSO 4 (7)	6,7	9,2	23,6
REMANSO 5 (9)	5,3	7,5	20,5
REMANSO 6 (10)	7,3	12,0	22,4
SALSIPUEDES (12)	5,7	9,1	17,5
TRES ÁRBOLES (14)	6,6	9,4	21,2
ROLÓN (16)	6,6	13,7	81,4

Autor: Bruno Guigou - División Información Ambiental

Revisores

Virginia Fernández - División Información Ambiental

Eugenio Lorenzo - División Emprendimientos de Alta Complejidad

Versión: 2 de junio de 2023