

Cuenca "Cerrada de la Puna"

Subcuenca: "Salinas Grandes - Guayatayoc"

Síntesis descriptiva

La superficie total de la cuenca alcanza los 17.552 Km². Agrupa las subcuencas San Antonio de los Cobres superior, media e inferior, otras microcuencas de menor importancia al sur (Fig. 2 y 3) y la subcuenca Miraflores - Colorado al norte (Fig. 1).



Figura 2 y 3: Vista panorámica nacientes sur de la cuenca



Entre los ríos, arroyos o quebradas de mayor importancia que ingresan a esta cuenca cerrada se destacan el río Miraflores, el arroyo Colorado, el Casabindo y la Qda. La Torre, con escurrimiento de norte a sur; el río de Las Burras y río de Cobres, de oeste a este; y el Piscuno o Cortaderas y de la Soledad, de este a oeste. Por otra parte, con dirección sudeste - noroeste se destaca el río Moreno. Desde el sur acceden a las salinas grandes los ríos Moreno Chico, Abra Peñas Blancas o Tipal, San Antonio de Los Cobres y otros de menor importancia.

Río San Antonio de los Cobres

La microcuenca del río San Antonio es de forma elongada, se desarrolla en dirección sur - norte y su máxima amplitud es de 80 km, en cercanías de San Antonio de los Cobres (Fig. 4). En base a observaciones hidrogeológicas y criterios geomorfológicos, la cuenca del río San Antonio se puede dividir en tres sectores con características geomorfológicas, de flujo superficial y subterráneo diferentes: San Antonio superior, medio e inferior.



Figura 4: Rio San Antonio de los Cobres – San A. de los Cobres

San Antonio superior

Comprende desde las nacientes hasta la localidad de San Antonio de los Cobres. Se compone de numerosos ríos que confluyen en los alrededores de San Antonio de los Cobres y dan origen al río del mismo nombre. Los principales cursos de agua tienen un régimen de escurrimiento permanente que indica una buena capacidad de regulación de cada subcuenca. Esto se debe en parte a que una fracción de las precipitaciones en las nacientes es de origen nival, lo que permite una buena administración del escaso derrame anual generado.

En esta cuenca existen dos focos hidrotermales: los baños de Pompeya (Fig. 5) e Incachule, que con sus aportes contribuyen a mantener el caudal permanente de los ríos principales. Además se observan puntos de surgencia de aguas con alto contenido de carbonatos. Si bien no representan aportes importantes a los cursos fluviales, son suficientes para mantener la humedad de los terrenos adyacentes y permitir el desarrollo de una cobertura vegetal (generalmente herbácea) cuyo colorido contrasta con el paisaje monótono. (Paoli *et al.* 2003).



Figura 5: Baños de Pompeya – San A. de los Cobres

San Antonio medio e inferior:

Se desarrolla desde la localidad de San Antonio de los Cobres hacia el norte. El límite entre las cuencas media e inferior es difuso, localizándose aproximadamente donde se unen la ruta provincial 38 y la ruta nacional 40.

Ocupa una superficie de 1.166 km². El drenaje de la cuenca se simplifica en un cauce principal de carácter permanente con diseño anastomosado que fluye por un amplio valle. A excepción del río Los Patos, los afluentes recibidos en este sector de la cuenca son de escasa importancia y de carácter temporal.

Las observaciones realizadas sobre el río de Los Patos en diferentes épocas del año permiten asegurar que es un curso temporal, ya que en diversas oportunidades su cauce principal se mantiene seco. Particularmente durante el verano 1996 - 1997 su cauce se ha observado sin escurrimiento superficial en las proximidades a la confluencia con el río San Antonio. Entre otras causas, la gran permeabilidad de su lecho influye sobre esta situación, especialmente aguas abajo del paraje Corte Blanco.

El río San Antonio pertenece a la cuenca de Salinas Grandes. La configuración de la cuenca de Salinas Grandes es groseramente semilunar al adaptarse su margen occidental al lineamiento convexo del extenso abanico del río Las Burras, a lo largo de aproximadamente 40 km. Este abanico, aunque infuncional, posee un extenso desarrollo en superficie, lo que permite la recepción de agua de precipitación que, luego de una rápida infiltración y posterior percolación en el subsuelo, recarga las reservas subterráneas, convirtiendo este depósito en un importante reservorio acuífero. Numerosos manantiales surgen en los sectores próximos a la cubeta salina, especialmente en el período de estiaje (Paoli *et al.* 2003).

En el ámbito de la cuenca del río San Antonio es posible además separar 11 subcuencas cerradas de dimensiones reducidas, que son identificadas con los nombres de las quebradas más importantes que las recorren (Cuadro 1).

Cuadro 1: Subcuencas del río San Antonio de Los Cobres.

Subcuenca	Identificación
	Laguna Colorada
	Cave
	Tajamar
	Potrerillos
	El Cajón
	Organullo
	Tuzgle-El Mojón
	Los Patos Superior
	Muñano
	Los Patos Inferior
	San Antonio- Concordia

Los niveles freáticos de diferentes pozos ubicados en la cuenca del río San Antonio medidos en metros, con referencia al nivel del terreno son los indicados en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Niveles freáticos de las subcuencas del río San Antonio de Los Cobres

Ubicación	Profundidad (m.)
Pueblo Nuevo	7,5
Puesto Calvario	1,9
Potrerillos	25,0
Puesto S. José de Cerrillos Sur	18,3
Puesto S. José de Cerrillos Norte	13,7
Escuela Esquina de Guardia	8,9
Molino esquina Guardia	3,8
Puesto Cerrillos Norte	2,05
Puesto Cerro Guardia	9,9

Fuente: Moya Ruiz, 1993

Paralelamente en los cuadros 3a, 3b y 3c se indican los valores de cationes y aniones determinados en análisis químicos de muestreos realizados oportunamente por diferentes organismos y/o empresas consultoras que trabajaron en el medio.

Cuadro 3a: Análisis químico de las aguas de la cuenca del río San Antonio de los Cobres realizado por Aquater.

ANALISIS AQUATER	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	B (mg/l)	As (mg/l)
Qda. La Mesada (634)	29,8	8,2	16,3	3	14,8	103,6	0	20,1	1	
Pto. La Mesada (628)	14	2,3	17,3	3	8,5	79,2	0	11	1	
Qda.Chacras (627)	27,5	1,9	14,2	4,9	15,9	91,4	0	0	2,9	
Qda. Pto. Grande (626)	29,8	1,9	34,6	8	20,9	112,2	0	26,8	2,7	
Rio San Antonio (633)	345	25,8	32,6	14,5	354,5	286,6	0	129,6	38	
Rio San Antonio (642)	345	28,9	34,6	19,4	354,5	323,1	0	86,4	52	
Incachule (981)	460	39,1	51	4,9	354,5	731,7	0	62,4	28	
Incachule (982)	460	39,1	51	4,9	354,5	731,7	0	81,6	28	
Incachule (983)	460	39,1	51	4,9	350,9	731,7	0	48	27	
Incachule (984)	460	39,1	36,7	5,4	340,3	731,7	0	39,8	28	
Pompeya (661)	1.310	140,7	63,2	27,9	1.418	1.280,5	0	211,2	55	9,8
Pompeya (662)	1.494	179,8	69,3	32,8	1.524	1.402,5	0	249,6	57	8,1
Pompeya (663)	1.609	168,1	63,2	26,7	1.595	1.341,5	0	316,8	66	
Pompeya (664)	1.448	148,5	17,3	31,5	1.240	1.280,5	0	302,4	56	
Pompeya (665)	1.402	168,1	67,3	30,3	1.276	1.402,5	0	240	59	

Fuente: (Moya Ruíz. 1993)

Cuadro 3b: Análisis químico de las aguas de la cuenca del río San Antonio de los Cobres realizado por CFI.

ANALISIS CFI	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	B (mg/l)	As (mg/l)
Potrerillos	82,9	8,9	110,9	30,9	287,8	92,6	0	89,7	3	0
Esc. Esq. Guardia	106,8	12,1	73,2	17,9	199,9	151,2	0	108,9	3,5	< 0,04
Agua Castilla Toma	82,9	7,4	35,7	10,9	108,1	165,8	0	38,8	4	0,8
Agua Castilla Rio	76,9	6,2	30,6	7	91,8	165,8	0	35	4	0,4
Rio Organullo	136	21,8	40,8	12	248,1	181,7	0	38,8	2	< 0,04
Rio Los Patos	164,9	19,1	40,8	14,9	224	243,9	0	48,9	0,8	<0,04
Red Agua San Ant.	91,9	7	38,7	8	108,1	135,8	0	49,9	3,5	0,4
Pto. Co Guardia	351,8	19,1	68,1	19,9	307,3	570,7	0	117,1	4	0,8
Molino Esq. Guardia	102,9	8,6	81,3	22,9	220,1	131,7	0	132,9	2,5	0,4

Fuente: (Moya Ruíz. 1993)

Cuadro 3c: Análisis químico de las aguas de la cuenca del río San Antonio de los Cobres realizado por CFI.

ANALISIS CFI	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	B (mg/l)	As (mg/l)
Qda. Cave	52,8	7,8	73,4	27,9	31,9	125	0	261,6	2,3	
Qda. Tajamar (ab. Inc.)	220,6	22,6	20,4	12,1	191,4	272,5	36,5	52,3	6	0,23
Rio Organullo	351,5	58,6	116,2	38,8	790,5	192	0	12	5,5	0,07*
Pto.S. Jose. Cerr. N	91,9	12,1	77,5	23	141,8	139	0	179	4	
Agua Castilla Toma	78,1	7	36,7	12,1	88,6	128	11,9	66,2	4	0,47
Rio San Ant. Pblo. Nvo	236,6	27,3	48,9	19,4	329,6	173,7	23,9	98,4	5	0,7
Agua Castilla Rio	91,9	7,8	24,4	12,1	102,8	189	0	19,2	4,5	
Pto. Cerrillos	108	12,5	61,2	19,4	141,8	179,8	0	128,1	5	
Qda. Tajamar (ab. Inc.)	16	1,5	12,2	4,8	10,6	56,1	0	24,9	0,5	0,02
Qda. Potrillos	71,2	4,6	22,4	10,9	56,7	157,3	0	49,9	2,5	0,2
Pueblo Nuevo (pozo)	248,1	30,5	61,2	17	216,2	615,8	0	0	5	
Molino Esq. Guardia	110	9,3	81,6	30,3	191,4	160,3	0	168,4	4,5	
Pto. S. Jose. Cerr. S	94,2	10,9	65,2	21,8	134,7	138,4	0	158,8	4,5	
Qda. Cajón	448,1	35,1	132,6	37	670	519,5	0	109,4	6	
Qda. Tajamar (rut. 51)	101,1	7,8	22,4	10,9	60,2	135,3	14,3	105,6	5	
Esc. Esq. Guardia	96,5	12,5	69,3	35,2	184,3	123,7	7,1	160,8	3	
Pto. Calvario	158,5	21,5	38,7	20,6	219,7	189,6	0	83,5	4,5	
Pto. Cerro Guardia	82,7	4,3	18,3	8,5	74,4	46,3	0	117,6		
Rio San Ant.(Rut. 40)	241,2	24,2	57,1	29,1	358	260,9	0	93,1	4	0,4
Pto. Esq. Tolar	101,1	17,9	32,6	14,5	109,8	174,4	0	81,6	3,5	
Rio Los Patos	216	22,2	61,2	32,8	393,4	70,7	7,7	151,2	4	

Fuente: (Moya Ruíz. 1993)

Río Miraflores

El río Miraflores (Fig. 6) es uno de los cursos con agua permanente en superficie de mayor importancia. Escurre desde la zona de Pumahuasi, Cangrejo y Cangrejillos; y por el noroeste, desde las Sierras de Aguilar. Se dirige hacia el sur para desaguar en la laguna de Guayatayoc. El recurso hídrico superficial del río Miraflores proviene de los aportes de una superficie de cuenca que llega hasta Abra Pampa.



Figura 6: Río Miraflores – Ruta 9. 2 Km. Al norte de Abra Pampa

El río Miraflores se forma con el flujo de base de la cuenca. Posee una considerable capacidad de amortiguación de crecidas, constituida por el ciénago que acompaña al río en toda su longitud y cuya superficie se estima en 4.800 ha.

No existen registros hidrométricos del río Miraflores, sino aforos puntuales en algunos puntos de interés. Los aforos arrojaron los siguientes registros de caudales escurridos: 0,065 m³/s en enero y 0,040 m³/s en junio y hasta un máximo de 0,100 m³/s en setiembre (Ex Proyecto NOA Hídrico. 1982).

El recurso hídrico subterráneo en esta cuenca es muy limitado no sólo por razones climáticas, sino también porque las serranías del flanco oeste de la cuenca: Cochinoca y cordón de Escaya, poseen condiciones poco favorables para la infiltración de las precipitaciones por carecer de conos de deyección y disponer de materiales muy poco permeables en sus faldeos; es decir que el agua subterránea disponible se reduce a las aguas freáticas. El nivel freático varía entre los 2 y 17 m.

Arroyo Colorado

Entre los tributarios de mayor importancia que recibe el río Miraflores, se destaca el arroyo Colorado. Sus aguas son aprovechadas para el riego de unas 120 has., ubicadas en el entorno de la localidad homónima. En el cuadro 4 se indican los registros de aforos realizados oportunamente.

Cuadro 4: Aforos puntuales obtenidos en el Arroyo Colorado (Cangrejillos, Jujuy) Lat. 22° 07' – Long. 65° 36'.
Altitud: 4.800 msnm

Serie 78/79 – 79/80	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Q medio Anual	Derrame Anual hm ³
Q (m ³ /seg) Aforado	0,08	0,08	0,08	0,21	0,19	0,12	0,14	0,09	0,10	0,12	0,12	0,10	0,12	3,78
Q(Correlacionado)	0,08	0,08	0,08	0,18	0,17	0,11	0,13	0,09	0,1	0,11	0,11	0,1	0,11	3,50

Fuente: Ex - Proyecto NOA Hídrico. 1979-82

Del análisis de los caudales medios mensuales surge que el Arroyo Colorado (Jujuy) posee un régimen de caudales mixto nivo-pluvial, con máximos en los meses de julio y diciembre.

Hidrogeología en Arroyo Colorado

Un chequeo hidrogeológico realizado en el área de trabajo, muestra que las zonas de descargas reales y posibles son:

- El subálveo del arroyo Colorado en la quebrada homónima.
- Manantiales, entre los que podemos citar Cangrejillos y Cangrejos.
- El límite septentrional y occidental de la cuenca, que según las condiciones geológicas constituyen cierres subterráneos, aunque no tienen confirmación física visible.

Con los datos disponibles, el flujo anual del subálveo que pasa por debajo del muro de afloramiento en la quebrada del arroyo Colorado, estimado mediante la expresión de Darcy, sería del orden de los 3 Hm³/año.

En el cuadro 5 se muestran los aportes superficiales Q(sup.) medidos y ajustados, los aportes del subálveo estimados, y Q(sup.) posibles de captar mediante pantalla afloradora.

Cuadro 5: Régimen del arroyo colorado en el muro aflorador

Mes	Q. sup. (m ³ /s)	Q sub-álveo (m ³ /s)	Q total (m ³ /s)
Setiembre	0,082	0,095	0,177
Octubre	0,075	0,095	0,170
Noviembre	0,081	0,095	0,176
Diciembre	0,212	0,095	0,307
Enero	0,188	0,095	0,283
Febrero	0,117	0,095	0,212
Marzo	0,136	0,095	0,231
Abril	0,092	0,095	0,187
Mayo	0,099	0,095	0,194
Junio	0,116	0,095	0,211
Junio	0,120	0,095	0,215
Agosto	0,102	0,095	0,197

Fuente: Ex - Proyecto NOA Hídrico. 1979-82

Calidad química del agua

En diferentes puntos de interés y época del año, se determinaron valores de conductividad eléctrica, alcalinidad y pH. Los resultados de los análisis arrojaron los valores que se indican a continuación:

- Salinidad media a elevada
- Levemente sódica
- De moderadamente a muy dura

De acuerdo con el método de clasificación Riverside, las aguas del arroyo Colorado se califican como: C2-S1 y C3-S1, lo que significa medio a alto contenido salino (C2 y C3) y baja relación adsorción de sodio (S1). En los cuadros 6 y 7 se muestra el relevamiento de información respecto a calidad de agua para uso agrícola del río Miraflores y sus afluentes más relevantes.

Cuadro 6: Valores de C.E en agua superficiales y subterráneas del río Miraflores y sus afluentes principales.

Lugar de muestreo Fechas	C.E: Valores expresados en mmhos/cm		
	19/01	10/08	10/09
Puesto del Marquez	0,288	0,305	s/d
Pumahuasi	0,456	0,427	s/d
La Intermedia Agua de Pozo	0,354	0,354	0,423
Puesto Taboda	0,390	S/d	s/d
Puesto Farfán	0,258	0,561	s/d
Río Cangrejos	0,366	0,329	s/d
Río Cangrejillos	0,288	0,293	s/d
Río Miraflores (Abra Pampa)	0,390	0,610	s/d
La Intermedia (Escuela)	s/d	s/d	0,308
Río Cangrejillos	s/d	s/d	0,369
Casa Sr. Juan Bautita	s/d	s/d	0,641
Caracara	s/d	s/d	0,106
La Intermedia	s/d	s/d	0,968
Pozo Sr. Zerpa	s/d	s/d	0,632

Fuente: Ex - Proyecto NOA Hídrico 1976-79.

Cuadro 7: Conductividad eléctrica (C.E) del agua subterránea (mmhos/cm)

Lugar/Fecha		8/3	14/5	20/9	20/11	20/1	31/3
Chorrillos	Prof.	15,00	15,30	15,30	15,60	15,90	15,90
	C.E	1,12	1,26	1,37	1,33	1,26	1,49
Escuela Chorrillos	Prof.	16,00	17,00	17,00	17,30	17,50	15,70
	C.E	0,79	0,81	0,81	0,78	-----	0,78
Casa Benito Alfaro	Prof.	13,50	14,00	14,00	14,20	14,50	13,90
	C.E	0,77	0,80	0,80	S/d	0,76	0,76
Casa Sr. González	Prof.	13,00	14,00	S/d	14,30	13,70	13,30
	C.E	0,81	0,78	S/d	S/d	S/d	0,80
Sr. C. Aparicio	Prof.	12,50	12,50	12,50	12,80	12,90	12,50
	C.E	0,81	0,81	0,83	0,80	0,77	0,78
Sra. F. Martínez	Prof.	13,00	13,30	13,30	13,60	13,70	13,10
	C.E	0,83	0,79	0,80	0,77	0,76	0,77

Fuente: Ex - Proyecto NOA Hídrico 1976 - 79

Características morfológicas de la cuenca

Se presentan los parámetros calculados en función de la aplicación del programa Arc Gis 9.2 Modulo Arc-Hidrology y su información de referencia (Cuadros 8a y 8b), junto con los mapas de dirección de flujo y pendiente, generados en la subcuenca Salinas Grandes - Guayatayoc (Fig. 7 y 8).

Cuadro 8a: Parámetros morfológicos de la subcuenca Mojotoro - Lavayén.

Nombre Cuenca	Superficie (Km ²)	Perímetro (Km)	Alt. Máx. (m)	Alt. Mín. (m)	Alt. Me (m)	Alt. DS (m)	Pend. Me (%)	Pend. SD (%)	Factor Forma	Índice Compacidad	Ancho Me (Km)
Salinas Grandes - Guayatayoc	17.552,11	1.159,40	5.829	3.583	3.869,75	329,722	11,33	13,08	0,25	2,47	66,47

Fuente: Arc. Gis 9.2 Modulo Arc-Hidrology.

Cuadro 8b: Información de referencia de la pendiente media de una cuenca.

Pendiente Media (%)	Relieve
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Índice de compacidad de Gravelius:

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo de la misma superficie. Las tendencias de las formas se encuadran en clases (Cuadro 9).

Cuadro 9: Información de referencia del índice de compacidad de Gravelius.

Índice	Forma
1 - 1,25	Casi redonda a oval redonda (compacta)
1,25 - 1,5	Casi oblonga a oval oblonga
1,5 - 1,75	Casi oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Casi rectangular (alargada)

Relación de forma de Horton (Rf)

Estima la forma de la cuenca según la relación entre la superficie de la cuenca y su longitud máxima al cuadrado (Cuadro 10).

Cuadro 10: Clasificación de la forma de una cuenca según la relación de forma de Horton.

Índice	Forma de la cuenca
0,785	Circular
1	Cuadrado con salida central
0,5	Cuadrado con salida lateral
<1	Rectangular

