



XVIII Congreso Peruano de Geología

HIDROQUÍMICA DEL SISTEMA DE ACUÍFERO VOLCÁNICO COROPUNA

Wai Long Ng Cutipa¹, Boris Laurend Santos Romero², Elmer Condori Quispe³, y Fluquer Peña Laureano^{1,4}

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá N° 1470 San Borja, Lima, Perú (wng@ingemmet.gob.pe)

² Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura N° 733, Cusco, Perú (borisgeologist@hotmail.com)

³ Universidad Nacional del Altiplano, Av. Sesquicentenario N° 1150, Puno, Perú (cq.elmer@gmail.com)

⁴ Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria N° 1801 San Miguel, Lima, Perú (fpena@ingemmet.gob.pe y fpenal@pucp.edu.pe)

1. Introducción

El presente estudio analiza las características químicas de las fuentes de agua subterránea de los alrededores del estratovolcán Coropuna y su relación con las características litológicas de las formaciones del estratovolcán y de sus alrededores, considerando surgencias de agua en rocas volcánicas del Neógeno al Cuaternario, con un basamento probablemente paleozoico y precámbrico (Complejo Basal de la Costa), afloramientos que se observan al oeste y sureste respectivamente. Se tomaron en consideración 25 manantiales y 02 fuentes termales.

2. Generalidades

2.1. Ubicación

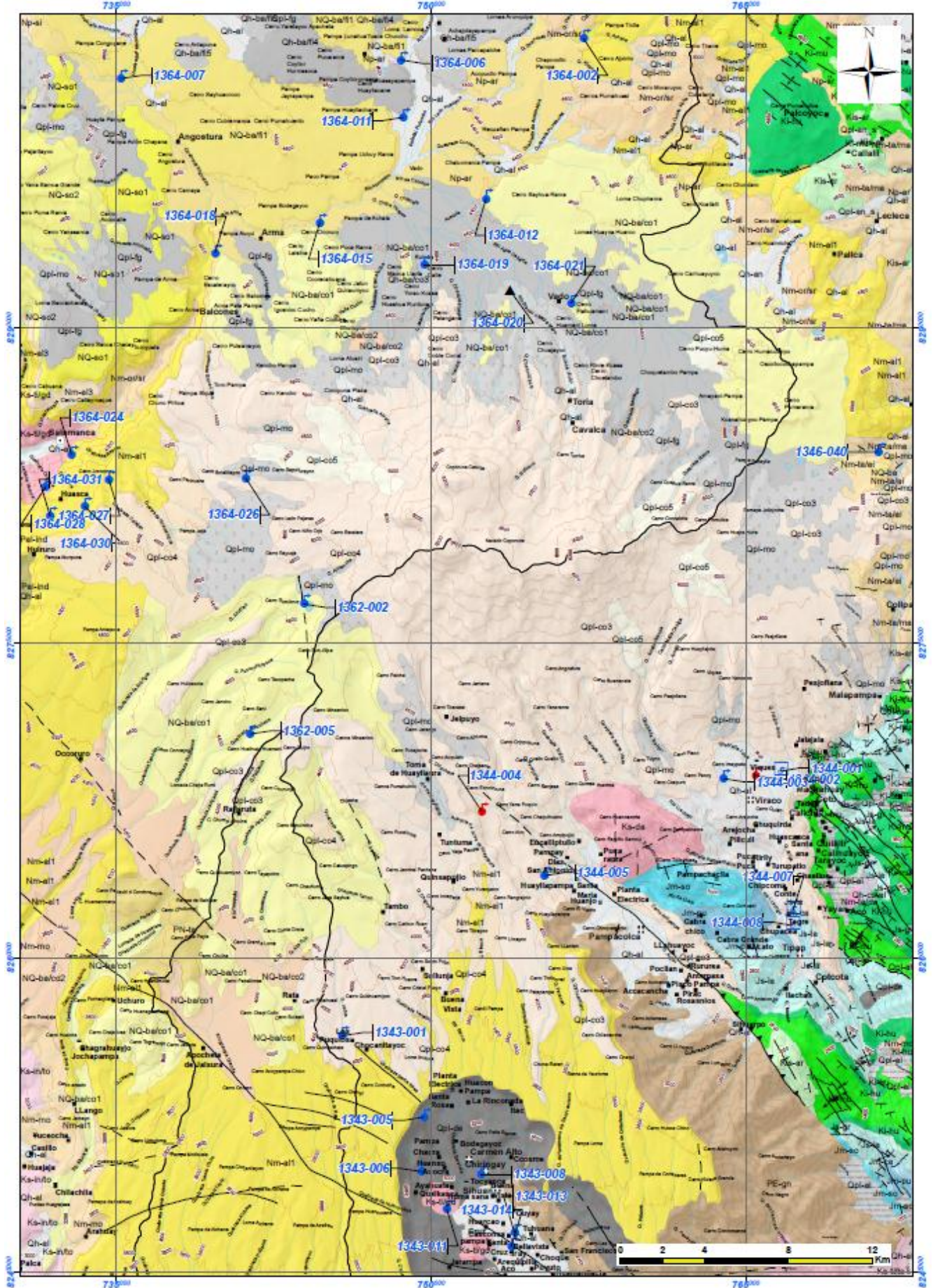
El nevado Coropuna se encuentra aprox. en la coordenada Este=750 870 y Norte=8 279 850, a una altitud de 6377 m.s.n.m. Políticamente abarca parte de las provincias de Condesuyo y Castilla, en el departamento de Arequipa y forma parte de la divisoria de aguas de la parte media de las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes-Colca. El área de trabajo cubre unos 3212.64 km² y se encuentra entre las coordenadas: 1) E=730 004.910, N=8 305 780.125; 2) E=781 231.991, N=8 305 217.642; 3) E=780 459.566, N=8 242 415.942; y 4) E=729 373.457 y N=8 242 997.129.

2.2. Aspectos geológicos

Los depósitos del volcán Coropuna (Figura 1) de edad neógena-cuaternaria se encuentran sobre rocas de la Fm. Alpbamba y Gpo. Tacaza (al O, S y NO); rocas del Complejo Basal de la Costa (gneises), la Fm. Socosani, Gpo. Yura (serie completa), Fm. Murco y Fm. Arcurquina (al SE); y rocas volcánicas del Gpo. Barroso (Fm. Arma) y a las rocas del estratovolcán Firura (al N). También existen algunos afloramientos de rocas intrusivas de la superunidad Tiabaya (E y S del nevado) y un cuerpo subvolcánico en Puca Ranra (SE del nevado).

Geológicamente, el volcán Coropuna es un estratovolcán conformado por 5 eventos. El evento 1 se encuentra al NE, N, NO y SO del nevado y está compuesto por lavas andesíticas afíricas a porfíricas con una datación de 5.3 +- 0.3 Ma (Quispesivana & Navarro, 2003). El evento 2 (2.5 +- 0.7, 1.8 +- 0.5 y 1.7 +- 0.2 Ma; Quispesivana & Navarro, 2003) se extiende principalmente al SO del nevado y está constituido de tobas dacíticas a riolíticas y algunos flujos lávicos andesíticos y se encuentran más distantes que a los depósitos del evento 1. El evento 3 conforma la mayor parte de las laderas y del cono del nevado, litológicamente son lavas andesíticas porfíricas fluidales. El evento 4 está compuesto por depósitos piroclásticos, flujos de pómez, caídas de pómez y cenizas; y el evento 5 consiste en flujos andesíticos afíricos vesiculados y se encuentran a manera de domos colada muy cerca del nevado, en la parte E y O.

Figura 1 Mapa geológico de los alrededores den nevado Coropuna.



Estructuralmente hacia el suroeste del nevado, cerca de Pampacolca e Iray; se encuentran fallas con dirección andina, como la falla inversa Pampacolca y la falla normal Chuquibamba. Al sureste, se observan un sistema de pliegues en las rocas sedimentarias cretácicas.

3. Metodología

La información y mapa geológico corresponde al cartografiado realizado por el INGEMMET en el año 2003 a escala 1: 100 000, los datos de resultados químicos del agua subterránea corresponden a los proyectos “Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Ocoña” y “Estudio hidrogeológico de la cuenca de los ríos Camaná-Majes-Colca”. El análisis químico de aguas fue realizado en el

laboratorio del INGEMMET, analizados por carbonatos y bicarbonatos, cloruro, sulfatos y metales disueltos. La interpretación se realizó en base a dos secciones geológicas e hidrogeológicas, diagramas e índices hidroquímicos. Los diagramas hidroquímicos se realizaron en el software AquaChem versión 5.1.

4. Resultados

Para el presente estudio, se consideró un total de 27 fuentes de aguas subterráneas, las cuales fueron clasificadas geoquímicamente por el ión predominante (Custodio & Llamas, 2001). En total se diferenciaron 13 tipos de aguas (Cuadro 1).

Cuadro 1 Resumen de tipos de agua de acuerdo al ión dominante.

Nº	Código	Nombre	Tipo de Fuente	Caudal (l/s)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Nombre completo
2	1343-005	Manantial Santa Rosa 1	Manantial	3.50	16.90	7.20	138.00	Bicarbonatada cálcica-sódica
3	1343-006	Manantial Acora	Manantial	3.00	18.30	7.70	454.00	Clorurada sódica
4	1343-008	Manantial Janupa	Manantial	0.50	13.90	6.11	285.00	Clorurada-sulfatada sódica-cálcica
5	1343-011	Captación Chuquibamba	Manantial	4.50	18.80	7.86	582.00	Clorurada sódica
6	1343-013	Manantial Captado Paucarpata	Manantial	0.50	16.50	7.41	719.00	Bicarbonatada-sulfatada cálcica-sódica
7	1343-014	Manantial Pajecto	Manantial	2.20	16.30	7.27	831.00	Bicarbonatada-sulfatada cálcica-sódica
8	1344-001	Manantial Machaguay	Manantial Captado	12.50	14.20	6.92	555.00	Sulfatada cálcica-magnésica
9	1344-002	Manantial Collpa	Fuente Termal	2.00	28.40	4.43	1833.00	Sulfatada sódica-magnésica
10	1344-003	Manantial Viraco	Manantial	11.00	13.80	6.30	378.00	Sulfatada cálcica-sódica
11	1344-004	Manantial Termal Muakallacta	Fuente Termal	5.00	49.30	5.33	3520.00	Clorurada sódica-cálcica
12	1344-005	Manantial San Antonio	Manantial	<0.5	13.40	7.20	160.00	Bicarbonatada sódica-cálcica
13	1344-007	Manantial Captado Tagre	Manantial Captado	0.20	18.10	6.85	755.00	Sulfatada cálcica-sódica
14	1344-008	Manantial Bellavista	Manantial Captado	3.10	16.70	7.01	781.00	Sulfatada cálcica-sódica
18	1346-040	Manantial Minasnio 2	Manantial	0.20	9.60	8.53	262.30	Sulfatada cálcica
19	1362-002	Presas Puquio	Manantial	4.00	11.00	7.22	36.70	Bicarbonatada sódica-cálcica
20	1362-005	Tacococha	Manantial	25.00	16.60	8.49	53.00	Bicarbonatada sódica-cálcica
26	1364-015	Cuscullo	Manantial	40.00	13.30	7.53	182.20	Sulfatada sódica
27	1364-018	Auqui 1	Manantial	200.00	14.30	7.14	288.00	Sulfatada sódica
28	1364-019	Maucallacta	Manantial	80.00	10.90	7.36	218.90	Sulfatada sódica-cálcica
29	1364-020	Chaqui	Punto de Control	90.00	9.50	7.25	91.50	Sulfatada sódica-cálcica
30	1364-021	Fiahuamani	Manantial	200.00	18.40	7.35	307.00	Sulfatada sódica
31	1364-024	Chiuchiralla	Manantial	3.50	14.00	7.58	232.30	Bicarbonatada sódica
32	1364-026	Yaco	Manantial	12.00	9.00	7.31	92.40	Bicarbonatada sódica-cálcica
33	1364-027	Toroccone	Manantial	6.00	8.50	6.66	50.10	Bicarbonatada sódica-cálcica
34	1364-028	Jarampa	Manantial	3.50	11.30	7.75	180.00	Bicarbonatada cálcica-sódica
35	1364-030	JesSio 1	Manantial	3.00	18.00	5.83	350.00	Sulfatada sódica-cálcica
36	1364-031	Huerca	Manantial	2.00	13.30	7.42	52.20	Bicarbonatada sódica-cálcica

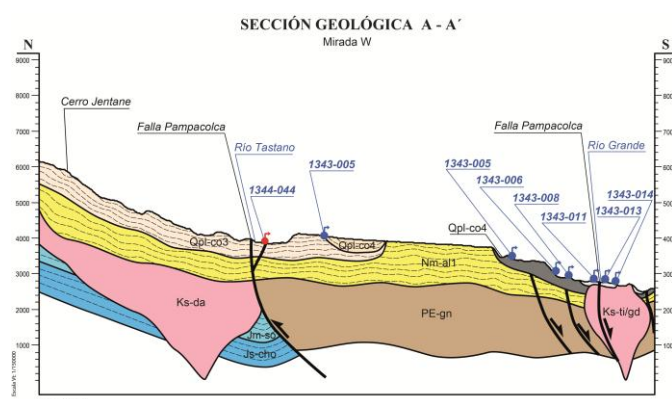
5. Discusión

Teniendo en cuenta el cartografiado geológico a escala 1:100 000 del área se procedió a realizar una sección geológica Norte-Sur desde la cumbre del nevado Coropuna hasta la zona de Iray (Figura 2), considerando los afloramientos volcánicos del Coropuna y la zona de deslizamiento de Chuquibamba. Superficialmente se aprecian las lavas andesíticas y depósitos piroclásticos de los eventos 3 y 4 del Coropuna respectivamente (Quispesivana & Navarro, 2003); cerca de Buena Vista se encuentran las tobas de la Formación Alpbamba, la cual se extendería por debajo de las rocas del estrato volcán Coropuna y de los depósitos de deslizamiento de Chuquibamba. En este último sector afloran rocas gneísicas del complejo basal de la Costa (Olchauski & Dávila, 1994).

Hidrogeológicamente por su litología, las rocas del evento 3 del Coropuna son permeables por fracturación lo cual favorece a la circulación y almacenamiento de agua subterránea. Las tobas del Alpbamba, y los gneises del Complejo Basal son impermeables a semipermeables, el

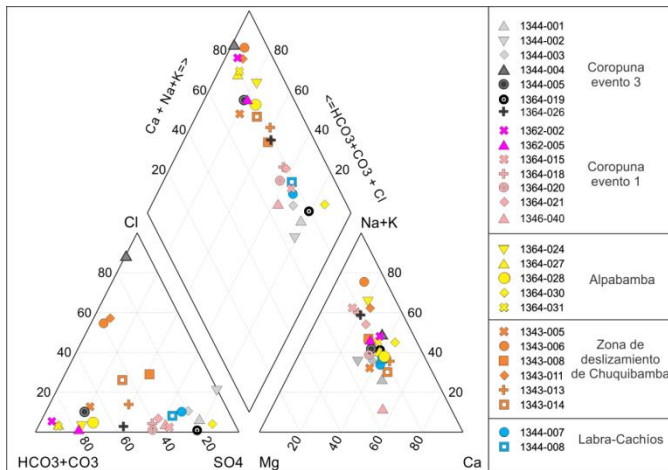
circulamiento de agua subterránea puede producirse sólo por fallas y fracturas preferenciales.

Figura 2 Sección geológica A-A'



Teniendo en cuenta las surgencias de agua subterránea, las características geológicas de las formaciones y la interpretación hidroquímica, se diferencian 4 zonas de surgencia con distinto circulamiento subterráneo. Esto se sintetiza en el diagrama Piper (Figura 3).

Figura 2 Diagrama de Piper de las fuentes de agua



Grupo 1, son fuentes de circulación principalmente en rocas del estratovolcán Coropuna, con surgencias en los eventos 3 y 1. Las surgencias del evento 3 se diferencian en un primer subgrupo (en color plomo claro, Figura 3) producidas en los alrededores de Viraco y de facies sulfatadas mixtas (Ca-Mg, Na-Mg, Ca-Na), y un segundo subgrupo en el sector de Huallamapa, siendo la fuente termal 1344-004 Cl-Na-Ca, mientras que el manantial 1344-005 es HCO₃-Na-Ca (este subgrupo en color negro en la Figura 3). Estas diferencias y los valores de CE diferencian flujos de agua subterránea más superficiales y de menor recorrido para la fuente 1344-005, un flujo de agua subterránea más profundo que el anterior para las fuentes sulfatadas del sector de Viraco, y un flujo mucho más profundo para la fuente termal Maukallacta (con la más alta CE del sector = 3520.0 uS/cm, y facies clorurada). Dentro de las surgencias del evento 1 en tonalidades rosadas (Figura 3), también se diferencian 2 subgrupos: las HCO₃-Na-Ca (1362-002 y 1362-005) con CE que varían de 36 a 53 uS/cm aprox. al SO del nevado Coropuna, y las fuentes SO₄-Ca, SO₄-Na y SO₄-Na-Ca al N del nevado con CE que varían de 91 a 307 uS/cm aprox. Estos dos subgrupos tienen circulamiento por litologías distintas, considerándose para el primer subgrupo un circulamiento sólo de las rocas del evento 1, mientras que el segundo subgrupo con circulamiento somero en cual están en contacto con probables minerales de sulfuros metálicos correspondiente a la alteración hidrotermal del centro volcánico que en superficie no se observa. Estas fuentes se recargan principalmente de la precipitación en las partes más altas del nevado Coropuna.

Grupo 2, son fuentes que tienen surgencia en los alrededores del sector Huasca (al O del nevado), son fuentes que tienen entre 50 y 350 uS/cm, con facies bicarbonatadas, sin embargo, existe una fuente (1364-030) que es SO₄-Na-Ca. Como se puede apreciar en la Figura 2, esta última fuente está más relacionada al subgrupo 2 de las surgencias producidas en el Coropuna, correspondiente al evento 3. Estas características, diferenciarían a la fuente 1364-030 de acuerdo a su circulamiento, la cual se produciría por recarga en el nevado Coropuna y a través de fracturas llegaría a transitar por las tobas del Alpabamba hasta producirse la surgencia en el sector de Huasca. Las demás fuentes corresponderían a flujos subsuperficiales que ocurren en las tobas Alpabamba.

Grupo 3, se diferencian 2 subgrupos. El primer subgrupo son fuentes relacionadas a recargas en las zonas muy próximas a la zona de deslizamiento y los depósitos aluviales (fuentes 1343-005, 1343-013 y 1343-014), debido a que son de naturaleza bicarbonatadas mixtas. El segundo subgrupo se diferencia por ser de facies Cl-Na y Cl-SO₄-Na-Ca. El origen del Cl no es claro en este caso, debido a que los flujos de agua más profunda tienen componentes sulfatados a CE moderados según las fuentes evaluadas, y que el termal Maukallacta es clorurado con alta CE y temperatura.

Grupo 4, corresponden a 2 fuentes al SE del nevado, con surgencia en contacto con las formaciones Labra y Cachíos, constituido por areniscas intercaladas con lutitas. Debido a este contacto con un nivel más impermeable, las surgencias se producen al sur de las surgencias de Viraco, a unos 8 km. Este grupo correspondería a flujos de agua subterránea similares a las fuentes 1344-001, 1344-002 y 1344-003; la cual se corrobora en la Figura 2 al estar en la misma zona del diagrama, con tendencia a incrementar en SO₄ (diagrama triangular de aniones en la Figura 3).

N. Conclusiones

De las fuentes evaluadas, se diferencian distintos recorridos o flujos subterráneos en cada formación geológica, con una tendencia general de bicarbonatadas para las más subsuperficiales, sulfatadas con flujo somero y cloruradas con flujo profundo relacionadas al manantial Maukallacta. Estas facies hidroquímicas concuerdan con la litología, permeabilidad de las rocas, las zonas de recarga del sector y los resultados químicos del agua subterránea. Se diferenciaron 4 zonas de surgencia en distintas litologías, observando que el cloro de las fuentes 1343-006, 1343-008 y 1343-011 tienen un origen distinto al del circulamiento profundo.

Según la disposición de las formaciones geológicas, la recarga de las fuentes se produciría por las precipitaciones en el nevado Coropuna y sus alrededores.

Referencias

- Custodio, E., Llamas, M. 2001. Hidrología subterránea. Barcelona: Ediciones Omega, 2da. Ed., 2 tomos.
- Olchanski, E., Dávila, D. 1994. Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 50, 52 p.
- Quispesivana, L., Navarro, P. 2003. Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p) Escala 1:100 000. Informe P-1144, 42 p.