

ESTUDIO "IN SITU" DEL CONSUMO DE AGUA Y DE LA PRODUCCION DE LA
PAPA PARA 3 ESTACIONES DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

J. VACHER ^x O. ATTEIA ^x E. IMAÑA ^{xx} E. BRASIER ^x

con la colaboración técnica de

J. CHOQUEVILLCA ^{xx} R. MALDONADO ^{xx} A. MENDEZ ^{xx}

INTRODUCCION

Los resultados del estudio de los riesgos de sequía en el Altiplano boliviano (ATTEIA y, al 1988) han subrayado la frecuencia y la intensidad del déficit hídrico de los cultivos durante todo el ciclo agrícola. La evidencia de una baja disponibilidad del agua hizo necesario precisar los procesos de alimentación hídrica de los principales cultivos del Altiplano con el fin de determinar los mejores métodos de lucha contra la sequía. Con este objetivo se realizó un estudio del consumo de agua y de la producción de la papa en tres estaciones contrastadas del Altiplano (en base a datos climáticos y edáficos). Nos proponemos con el conocimiento de las variables climáticas, de las características hídricas del suelo, de la evapotranspiración real y de la producción del cultivo, determinar los principales factores limitativos de la agricultura en el Altiplano boliviano.

MATERIAL Y METODOS

1) Los sitios escogidos para el estudio son : Viacha, Belén y Patacamaya.

Viacha es representativo del Altiplano lluvioso. Las precipitaciones son intensas y relativamente regulares (cuadro 1). El suelo se caracteriza por la presencia de un horizonte arcilloso muy compacto de 30 a 50 cm de profundidad (fig. 1).

Belén corresponde a un clima con precipitaciones más

^x ORSTOM, CP 8714, La Paz-Bolivia

^{xx} SENAMHI, CP 20996, La Paz-Bolivia



FIG 1. CARACTERISTICAS EDAFICAS DE LAS ESTACIONES

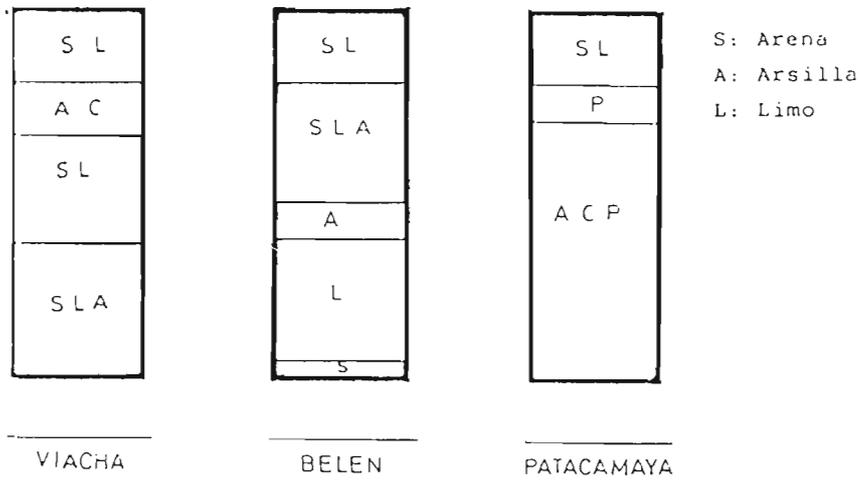
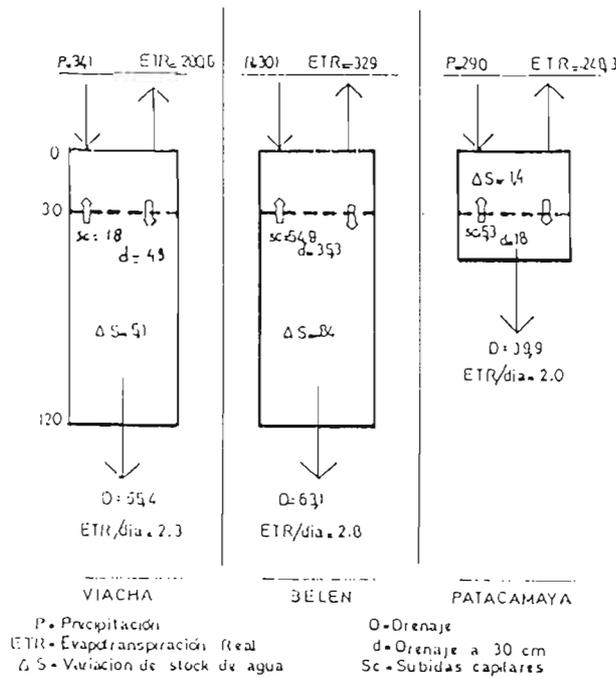


Fig. 2. BALANCE HIDRICO PARA LAS ESTACIONES DE VIACHA, BELEN Y PATACAMAYA



C1. BELEN: ev. del balance hidrico

Fecha	Lluvia	Δ S	ETR / d	
15.12				
21.12	36.0	-0.2	2.4	
27.01	51.8	12.2	2.3	
03.02	36.3	-7.6	2.1	
10.02	11.6	-17.6	2.4	
17.02	16.7	-18.2	2.6	
23.02	51.2	14.0	2.7	
01.03	32.0	-3.5	2.3	
08.03	5.7	-20.8	2.6	
14.03	31.0	-9.3	2.4	
21.03	23.0	-12	2.3	
27.03	7.04	-26.7	2.6	
03.04	16.04	7.0	-5.7	2.7
Total	301	-84.2	2.6	

C2. VIACHA: ev. del balance hidrico

Fecha	Lluvia	Δ S	ETR / d
21.12			
27.01	31.0	13.7	2.0
03.02	46.1	15.1	2.0
10.02	25.9	13.5	2.1
17.02	27.7	-6.6	2.6
23.02	40.5	10.1	2.8
01.03	36.0	-4.3	2.7
08.03	30.0	0.3	2.1
14.03	30.5	-1.5	2.4
21.03	15.7	-5.8	2.2
27.03	21.3	-17.1	2.6
03.04	32.0	-2.3	2.3
Total	341	5.1	2.3

C3. PATACAMAYA: ev del balance hidrico

Fecha	Lluvia	Δ S	ETR / d
15.12			
21.12	25.4	-0.4	2.1
27.01	21.2	5.9	1.9
03.02	30.9	5.5	2.3
10.02	44.0	5.4	2.9
17.02	23.6	-8.6	2.5
23.02	12.7	-13.2	2.7
01.03	19.0	-6.1	2.2
08.03	25.9	0.0	1.7
14.03	43.5	12.7	2.2
21.03	35.3	12.7	2.4
27.03	4.1	-6.1	1.4
03.04	2.3	-10.4	1.4
Total	289.6	1.4	2.0

S: variacion de cantidad de agua en el perfil ETR / d: Evapotranspiracion Real por dia

C1. Características climáticas de las Estaciones

	Llov.	L13/4	Deficit	
VIACHA	630	700	20	30 30
BELLEN	416	446	30	40 70
FATACAM.	406	420	70	70 85

Llov.: Total de lluvia por año en mm
 L13/4: Total de lluvia alcanzado 3 año por 4
 Deficit: Probabilidad de deficit hídrico por
 3 épocas del cultivo (en %)

C2. Balance hídrico por el año 85-86

	Llov.	ΔS	dren.	ETR	ETP
BELLEN	301	-24	63	321	335
VIACHA	341	5	55	241	336
FATACAM.	290	1	40	269	362

ΔS: Variación de la cantidad total de agua en el suelo (en mm)
 Dren.: Drenaje total en mm
 ETR y ETP: totales anuales en mm

C3. Relacion entre rendimiento y ETR

	ETR	ESt	ETR1	Stob	ETR2	Plub
BELLEN	2.6	42	2.8	17	2.7	78
VIACHA	2.3	35	2.3	13	2.5	75
FATACAM.	2.0	29	1.9	12	1.8	55

ETR1 y ETR2: Evapotranspiración Real por día durante tuberización y crecimiento de tubérculos
 ESt: Rendimiento en t/ha
 Plub y Plub: Numero y peso (en gr) procedido de tubérculos por planta

C6. BELLEN: Balance hídrico por 30 cm de suelo

Fechas	drenaje	sub cap:	capas:
23.12			
2.01			
13.01	6.8	0	1
23.01	19.3	0	2
3.02	4.2	2.0	3
13.02	0	6.0	5
24.02	5.0	0	6
5.03	0	1.0	3
18.03	0	6.0	5
26.03	0	6.5	11
7.04	0	14.4	12
16.04	0	8.9	12
Total	35.3	54.9	

sub cap. silios: capilares

C7. VIACHA: Balance hídrico por 30 cm de suelo

Fechas	drenaje	sub cap:	capas:
3.01			
13.01	15.8	0	1
23.01	15.6	0	2
3.02	4.2	0	2
12.02	2.0	0	3
24.02	3.4	0	3
5.03	4.5	0	3
19.03	7.6	0	3
29.03	0	3.0	4
10.04	0	4.0	4
24.04	0	11.0	5
Total	49.1	18	

capas: capas de 10 cm de suelo que alimentan la planta

C8. FATACAMA: Balance hídrico por 30 cm de suelo

Fechas	drenaje	sub cap:	capas:
26.12			
5.01			
15.01	2.3	0	1
25.01	0.6	0	2
27.01	16.3	0	2
6.02	1.6	0	3
17.02	0	1.4	3
27.02	0	0.1	3
11.03	2.4	0	3
20.03	1.2	0	3
27.03	0	1.3	4
9.04	0	1.5	4
Total	16	5.3	

escasas pero regulares durante los dos primeros tercios del ciclo del cultivo (ATTEIA y al, 1988). El suelo se compone de horizontes arenoso-arcillosos limosos y presenta excelentes condiciones agrohídricas.

Patacamaya es representativo del Altiplano central, las lluvias son escasas y muy irregulares. Los riesgos de déficit hídrico del cultivo son superiores a 70% durante todo el ciclo. Los suelos son muy superficiales, una capa pedregosa se presenta a los 40 cm.

El cultivo estudiado es la variedad de papa sani-imilla. El estudio ha sido realizado durante dos ciclos agrícolas (1985-86 y 86-87), los daños muy importantes causados por las numerosas heladas y granizadas en febrero y marzo de 1987, nos impiden utilizar los resultados obtenidos para este ciclo en sus valores absolutos pero si en sus tendencias.

2) El consumo de agua de la papa es evaluado por el método del balance hídrico de un compartimiento de suelo. La ecuación se escribe :

$$\begin{aligned} \text{ETR} &= P - \Delta S - D \quad \text{con} \quad \text{ETR} = \text{evapotranspiración real} \\ P &= \text{precipitaciones} \\ \Delta S &= \text{variación del contenido en agua del suelo} \\ D &= \text{drenaje} \end{aligned}$$

Las precipitaciones son medidas diariamente con un pluviómetro ubicado a menos de 100 m. de las parcelas. Las variaciones del contenido de agua en el suelo hasta una profundidad de 1,20 m. fueron estimadas con la comparación de las mediciones hechas con una sonda a neutrones. El ajuste de este aparato fue realizado para cada horizonte diferente del suelo, a partir de la comparación de los conteos neutrónicos con las mediciones de humedades ponderales y de la densidad aparente. Fueron instalados 3 tubos por cada parcela. La calidad de los datos de variación de "stock" determinado por sonda a neutrones fue verificada por varios autores (VAUCLIN, y al 1982, VACHAUD, y al 1983). El drenaje fue estimado según las relaciones entre la humedad (θ) y la presión de agua en el suelo (H) y entre la humedad (θ) y la conductividad hidráulica (K). Estas relaciones fueron establecidas en los laboratorios del ICW de Wageningen y precisadas por los tensiómetros instalados en 1987. La profundidad de las raíces y los componentes principales del rendimiento (número de tubérculos por planta, peso medio del tubérculo, rendimiento por hectárea) fueron medidos varias veces durante el ciclo agrícola.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores y la evolución de los diferentes componentes del

balance hídrico son reportados en los cuadros 1,2,3,4 y representados por la figura 2. Los datos subrayan los contrastes marcados en los tres sitios, tanto en los valores de la ETP como en las características generales de los flujos hídricos en el suelo. Sus análisis conducen a las observaciones siguientes :

- Las ETR de los tres lugares son muy diferentes y no siguen el orden de las precipitaciones. Las ETR de Belén, Viacha, y Patacamaya son de 323 mm, 281 mm y 249 mm para las respectivas precipitaciones de 301 mm, 341 mm y 280 mm. Las precipitaciones no aparecen entonces como el principal factor determinante de la ETR.

- Una ETR más importante para Belén corresponde a un uso mayor del agua contenido en el suelo, las variaciones de "stock" de agua son ampliamente negativas para Belén y casi nulas para Viacha y Patacamaya.

- El drenaje para el ciclo total del cultivo es parecido en las tres estaciones; se produce principalmente durante los meses de diciembre y enero, los meses más lluviosos.

Los datos sobre las principales componentes de la producción muestran una relación muy estrecha con la ETR (cuadro 5). El número de tubérculos por plantas, el peso medio de los tubérculos y la producción agrícola dependen directamente de la ETR, se ha encontrado en el Altiplano un promedio de 115 a 130 kg de tubérculos por mm de agua evaporada. La ocurrencia de un déficit hídrico durante la fase de tuberización (Viacha y Patacamaya) se manifiesta por un efecto negativo marcado sobre el rendimiento.

Estos resultados generales sobre el balance hídrico ponen en evidencia el papel preponderante de la eficiencia del suelo como reservorio de agua para las plantas sobre el rendimiento agrícola. Estudiaremos ahora la evolución de los componentes del balance hídrico para cada estación con el fin de precisar las modalidades de la alimentación hídrica de la papa.

BELEN

Para este sitio de mayor ETR y de producción, el consumo de agua para el cultivo de la papa sigue las principales fases siguientes :

- Durante las primeras semanas de crecimiento del cultivo, de diciembre a mediados de enero, la papa utiliza principalmente el agua de las precipitaciones y durante algunos días sin lluvia, el agua contenida en el volumen del suelo explorado por las raíces.

- En el inicio de una disminución de lluvias en febrero, la planta, que entra en la fase de tuberización muy sensible al déficit hídrico, utiliza el agua contenida en el suelo cerca de las raíces y de los horizontes inferiores. Los fenómenos de subidas capilares empiezan rápidamente y abarcan, durante los meses de marzo y abril, todo el perfil del suelo hasta 1,20 (cuadro 6), el saldo entre subidas capilares y drenaje a los 30 m es netamente positivo. Los flujos de agua hacia la superficie permiten una alimentación hídrica regular de las plantas y eliminan así los riesgos elevados de déficit hídrico, en particular durante la fase de crecimiento de los tubérculos.

VIACHA

La evolución de los diferentes componentes del balance hídrico (cuadro 2) permiten distinguir las fases de consumo de agua siguientes :

- De diciembre a mediados de febrero, el cultivo de papa se alimenta principalmente de las precipitaciones intensas en esta zona. El exceso de agua está eliminado por el drenaje, máximo en esta época a los 30 cm (cuadro 7).

- La irregularidad de las lluvias a fines de febrero y el aumento de las necesidades del cultivo se traducen rápidamente con la aparición de un déficit hídrico, en particular, durante la fase de tuberización. Las reservas de agua contenidas en los 35 primeros centímetros se acaban rápidamente, la presencia de un horizonte arcilloso compacto impide las subidas capilares lo que provoca una disminución importante de la ETR. Las fuertes lluvias a fines de marzo y el inicio de un flujo de agua que alcanza al máximo los 60 cm hacia la superficie, permiten un crecimiento regular de los tubérculos. La ETR, durante estas fases muy importantes para la producción de la papa, está totalmente determinada por el régimen de las precipitaciones.

PATACAMAYA

El consumo de agua para el cultivo de papa sigue las fases principales siguientes :

- Durante las primeras semanas de crecimiento vegetativo, el consumo de agua para el cultivo sigue las precipitaciones.

- A partir de los primeros días de febrero, las lluvias empiezan a ser muy escasas e irregulares. Las pequeñas reservas de agua contenidas en este suelo superficial son rápidamente utilizadas por una planta en pleno desarrollo y sometida a una demanda evaporativa relativamente elevada. Una disminución muy marcada de la ETR aparece y permanece hasta el final del ciclo

del cultivo. La ocurrencia de un déficit hídrico durante las fases de la tuberización y de crecimiento de los cultivos se traduce de manera muy negativa sobre el rendimiento.

La alimentación hídrica de un cultivo durante su ciclo está condicionada por los 3 factores principales siguientes: la regularidad y la cantidad de precipitaciones, la capacidad de almacenamiento y de redistribución del agua por el volumen de suelo explorado por las raíces y la contribución de las reservas hídricas profundas del suelo al balance hídrico del cultivo por subidas capilares. Los 3 ejemplos del consumo de agua por el cultivo de papa que acabamos de describir corresponden a diferentes contribuciones de estos 3 factores. La profundidad de las raíces de la papa fue siempre inferior a 40 cm en Belén y a 35 cm en Viacha y Patacamaya, las reservas en agua del suelo ocupado por las raíces son reducidas. Los papeles importantes en la producción agrícola, de las precipitaciones y de los flujos de agua hacia la superficie son amplificadas por la elección del cultivo de la papa.

Del análisis de la evolución de los componentes del balance hídrico del cultivo podemos distinguir 2 tipos de consumo de agua para los cultivos. El primero corresponde a Viacha y Patacamaya, y se caracteriza por una total dependencia de alimentación hídrica de los cultivos y de la producción hacia las precipitaciones. Solamente una regularidad de las lluvias en Viacha asegura un rendimiento más elevado. Un suelo superficial para Patacamaya y la existencia de una capa arcillosa compacta a los 30 cms en Viacha han inducido este papel muy determinante de las precipitaciones. En el caso de Patacamaya (representativo del Altiplano central) un aumento radical del rendimiento, en una zona que presenta riesgos de déficit hídrico del orden del 70% pasa necesariamente por un riego, sobre todo en los períodos sensibles de tuberización y de crecimiento de los tubérculos. Para Viacha, las condiciones más favorables de pluviosidad permiten alcanzar rendimientos mayores. Un aumento neto de la producción agrícola se podría obtener, sin embargo, con una labranza profunda (destruyendo la capa de arcilla compacta) y/o un riego de seguridad. Los resultados obtenidos sobre los valores bajos de la ETP nos permiten proponer un aporte de agua con riego.

El consumo de agua para el cultivo de papa y su producción en Belén se caracteriza por el papel determinante de las subidas capilares. La ETR y el rendimiento del cultivo no dependen solamente, en este caso, de las precipitaciones sino también del agua contenida en el suelo, en particular en las últimas fases de producción de tubérculos.

CONCLUSION

Los resultados obtenidos han establecido la importancia

fundamental de las características hídricas del suelo sobre la producción de la papa en el Altiplano boliviano. En una región agrícola que se caracteriza por riesgos de déficit hídrico del cultivo mayores a 30% durante todo el ciclo, y para un cultivo que presenta un aparato radicular reducido, la contribución de las reservas de agua de los horizontes inferiores a las raíces se convierte en un factor determinante de la ETR y del rendimiento. Varios autores han subrayado la importancia de los flujos de agua hacia la superficie en época de sequía (KATERJI y al, 1984, DAUDET y al, 1976). Una labranza más profunda en presencia de una capa arcillosa compacta cerca de la superficie y/o un riego mínimo por seguridad durante las fases de producción sensibles al déficit hídrico resultan, en varias zonas del Altiplano, indispensables para un aumento sensible del rendimiento de la papa.

BIBLIOGRAFIA

ATTEIA, O.; VACHER, J., 1988 - Estudio regional de los riesgos climáticos a partir de un modelo sencillo de balance hídrico. Informe ORSTOM. La Paz. 20 p.

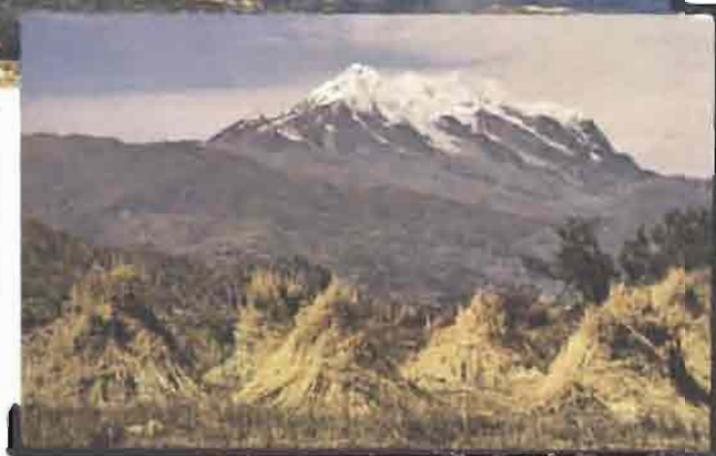
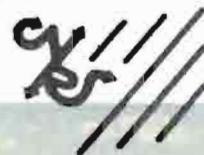
DAUDET, F.A.; VALANCOGNE C., 1976 - Mesure des flux profonds de drainage et de remontées capillaires. Leur importance dans le bilan hydrique. Ann. Agron., 27: 165-182.

KATERJI, N.; DAUDET, F.; VALACOGNE, C., 1984 - Contribution de réserves profondes du bilan hydrique des cultures. Détermination et importance. Agronomie, 184, 4(8): 779-787.

VACHAUD, G.; VAUCLIN, M., 1979 - Méthodologie du bilan hydrique d'une culture à l'échelle de la parcelle. Colloque International physique des sols et irrigation.

VAUCLIN, M.; HAVERKAMP, R.; VACHAUD, G., 1982 - Analyse de variance sur la teneur en eau mesurée à l'humidimètre neutronique. Bull. Gr. Fr. Humidimètre neutronique, 12, 17.

ACTAS DEL SEGUNDO SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA



LA PAZ 19-22 de Abril 1988